

TRABAJO DE FINAL DE GRADO

Grado en Ingeniería Mecánica

MEJORA AERODINÁMICA DE UNA MOTO DE COMPETICIÓN



Memoria y Anexos

Autores: Pablo Iglesias Ferro
Jaime Rodriguez Jimenez

Director: Domingo Santos Espada

Convocatòria: Mayo 2019



RESUMEN

Para comenzar, se ha realizado un estudio de datos de varios perfiles de ala para ver su comportamiento y, una vez escogido el que mejor se adapta a nuestras necesidades, se ha realizado un estudio en dos dimensiones mediante dos procesos diferentes.

Para poder efectuar un estudio más extenso y completo, se ha decidido obtener un diseño de una moto completa, para así poder localizar nuestro perfil dentro de ésta y diseñar dos sistemas de alerones que se puedan estudiar, uno de alerones fijos y otro de alerones móviles.

Como el objetivo de este proyecto es analizar el comportamiento del nuevo sistema de alerones móviles, se ha efectuado un estudio aerodinámico, tanto en posición fija como móvil, de los alerones integrados dentro del carenado dentro de un intervalo de velocidades e inclinaciones de la moto para compararlos después y poder sacar unas conclusiones precisas.

Posteriormente, se ha decidido diseñar un mecanismo que permita a los alerones rotar respecto a un eje y tener un desfase respecto al ángulo de inclinación de la moto. Este mecanismo permitirá mantener las alas en el plano horizontal la mayor parte del tiempo y que no provoquen fuerzas transversales a la moto durante su paso por curva y su salida de ella.

Finalmente, se ha diseñado un sistema electrónico capaz de captar el ángulo de inclinación de la moto para transmitirle la señal a un motor capaz de hacer girar los alerones.

RESUM

Primerament, s'ha realitzat un estudi de dades de una sèrie perfils d'ala per veure el seu comportament i, una vegada escollit el que millor s'adapta a les nostres necessitats, s'ha fet un estudi en dos dimensions a través de dos processos diferents.

Per a poder efectuar un estudi més extens y complet, s'ha decidit obtenir un disseny d'una moto de competició per a poder localitzar el nostre perfil dins i dissenyar dos sistemes d'alerons que es puguin estudiar, un de alerons fixos i l'altre d'alerons mòbils.

Com que l'objectiu d'aquest projecte es analitzar el comportament del nou sistema d'alerons mòbils, s'ha efectuat un estudi aerodinàmic d'ambdós sistemes dins d'un interval de velocitats i inclinacions per a poder-los comparar després y treure unes conclusions precises.

Posteriorment, s'ha decidit dissenyar un mecanisme que permeti als alerons rotar respecte a un eix i tenir un desfasament respecte a l'angle d'inclinació de la moto. Aquest mecanisme permetrà mantenir les ales en el pla horitzontal la major part del temps i que no provoquin forces transversals a la moto durant pas per corba i la sortida de la mateixa.

Finalment, s'ha dissenyat un sistema electrònic capaç de captar l'angle d'inclinació de la moto per transmtre la senyal a un motor capaç de fer girar els alerons.

ABSTRACT

First of all, we've done a study of data about some wing profiles to see his behaviour and, once the profile has been chosen about our needs, a 2D analysis has been done with two different processes.

In order to carry out a more extensive and complete study, it has been decided to obtain a design of a complete motorcycle in order to locate our wing profile inside it and design two spoiler systems that can be studied, one of fixed and another of mobile.

As the objective of this project is to analyse the behaviour about the new system, an aerodynamic study has been carried out about the spoilers fixed and mobile inside the fairing within a range of speeds and lean angles of the motorbike to compare them and can draw precise conclusions.

Subsequently, it has been decided to design a mechanism that allows the spoilers to rotate about an axis and have a lean angle lag with regard to the lean angle of the motorcycle. This mechanism will allow to keep the spoilers in the horizontal plane most of the time and that do not cause transverse forces to the motorcycle during its turn apex and its exit from it.

Finally, an electronic system capable of capturing the lean angle of the bike has been designed to transmit the signal to a motor capable of rotating the spoilers.

ÍNDICE

RESUMEN	3
RESUM	4
ABSTRACT	5
ÍNDICE DE TABLAS	9
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	11
1. OBJETO DEL PROYECTO	18
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	19
3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	20
3.1. MECÁNICA DE FLUIDOS	20
3.2. DESCRIPCIÓN DE UN FLUIDO. HIPÓTESIS DEL CONTINUO	20
3.3. TEOREMA DE BERNOULLI	21
3.4. FLUJO EXTERNO Y AERODINÁMICA	21
3.4.1. ECUACIÓN NAVIER-STOKES	24
3.4.2. CAPA LÍMITE	24
3.4.3. PERFIL DE ALA	25
3.4.4. PARÁMETROS INFLUYENTES EN LA CARGA AERODINÁMICA	27
4. AERODINÁMICA EN LAS MOTOCICLETAS	30
4.1. HISTORIA EN LA AERODINÁMICA DEL MOTOCICLISMO DE COMPETICIÓN	30
4.1.1. MOTOCICLETAS SIN CARENAR	31
4.1.2. MOTOS CARENADAS	32
4.1.3. A PARTIR DE 2016 HASTA AHORA	33
5. ELECCIÓN DE LA MOTOCICLETA	39
5.1. MODELO DE MOTOCICLETA	39
5.2. DISEÑO CAD DE LA MOTOCICLETA	42
6. ELECCIÓN DE LOS ALERONES	47
7. ESTUDIO EN DOS DIMENSIONES (2D)	50
8. DISEÑO CAD DE LOS ALERONES	73
8.1. DISEÑO DE ALERÓN FIJO	75
8.2. DISEÑO DE ALERÓN MÓVIL	77
8.2.1. ALERÓN DE MENOR TAMAÑO	77
8.2.2. ALERÓN DE MAYOR TAMAÑO	80
9. ESTUDIO EN TRES DIMENSIONES (3D)	83
9.1. SIMULACIÓN DE LOS ALERONES EN POSICIÓN FIJA	90
9.1.1. MOTO_F_0°	91
9.1.2. MOTO_F_10°	95
9.1.3. MOTO_F_20°	100
9.1.4. MOTO_F_30°	105
9.1.5. MOTO_F_40°	110

9.1.6.	MOTO_F_50°	115
9.1.7.	GRÁFICO DOWNFORCE – VELOCIDAD EN EL ALERÓN INTERIOR	120
9.1.8.	GRÁFICO DRAG – VELOCIDAD ALERÓN INTERIOR.....	121
9.1.9.	GRÁFICO FCC – VELOCIDAD ALERÓN INTERIOR.....	122
9.1.10.	GRÁFICO DOWNFORCE – VELOCIDAD ALERÓN EXTERIOR.....	123
9.1.11.	GRÁFICO DRAG – VELOCIDAD ALERÓN EXTERIOR	124
9.1.12.	GRÁFICO FCC – VELOCIDAD ALERÓN EXTERIOR	125
9.1.13.	GRÁFICO DOWNFORCE TOTAL – VELOCIDAD SISTEMA DE ALERONES FIJOS.....	126
9.1.14.	GRÁFICO DRAG TOTAL – VELOCIDAD SISTEMA DE ALERONES FIJOS	127
9.1.15.	GRÁFICO FCC TOTAL – VELOCIDAD SISTEMA DE ALERONES FIJOS	128
9.1.16.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	129
9.2.	SIMULACIÓN DE LOS ALERONES MÓVILES.....	132
9.2.1.	MOTO_M_0°.....	133
9.2.2.	MOTO_M_10°.....	137
9.2.3.	MOTO_M_20°.....	142
9.2.4.	MOTO_M_30°.....	147
9.2.5.	MOTO_M_40°.....	152
9.2.6.	MOTO_M_50°.....	157
9.2.7.	GRÁFICO DOWNFORCE – VELOCIDAD EN EL ALERÓN INTERIOR	162
9.2.8.	GRÁFICO DRAG – VELOCIDAD EN EL ALERÓN INTERIOR.....	163
9.2.9.	GRÁFICO FCC – VELOCIDAD EN EL ALERÓN INTERIOR	164
9.2.10.	GRÁFICO DOWNFORCE – VELOCIDAD EN EL ALERÓN EXTERIOR.....	165
9.2.11.	GRÁFICO DRAG – VELOCIDAD EN EL ALERÓN EXTERIOR	166
9.2.12.	GRÁFICO FCC – VELOCIDAD EN EL ALERÓN EXTERIOR.....	167
9.2.13.	GRÁFICO DOWNFORCE TOTAL – VELOCIDAD SISTEMA ALERONES MÓVILES.....	168
9.2.14.	GRÁFICO DRAG TOTAL – VELOCIDAD SISTEMA ALERONES MÓVILES	169
9.2.15.	GRÁFICO FCC TOTAL – VELOCIDAD SISTEMA ALERONES MÓVILES	170
9.2.16.	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y COMPARATIVA	171
10.	MECANISMO DE ROTACIÓN DE LOS ALERONES	176
10.1.	MECANISMO DE ENGRANAJES	181
10.2.	MECANISMO DE CORREA.....	185
11.	SISTEMA ELECTRÓNICO.....	192
12.	FABRICACIÓN DE LOS ALERONES	195
13.	CONCLUSIONES.....	197
	ANÁLISIS ECONÓMICO	199
	ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL.....	201
	BIBLIOGRAFÍA	203
	REPARTO DEL TRABAJO ENTRE LOS DOS INTEGRANTES DEL PROYECTO	205
	ANEXO 1: IMÁGENES DE LAS SIMULACIONES DE LOS ALERONES.....	206
1.	ALERONES FIJOS.....	207
1.1.	MOTO_F_0°	207
1.2.	MOTO_F_10°	209
1.3.	MOTO_F_20°	211
1.4.	MOTO_F_30°	213
1.5.	MOTO_F_40°	215
1.6.	MOTO_F_50°	217

2.	ALERONES MÓVILES.....	219
2.1.	MOTO_M_0°	219
2.2.	MOTO_M_10°	220
2.3.	MOTO_M_20°	222
2.4.	MOTO_M_30°	224
2.5.	MOTO_M_40°	226
2.6.	MOTO_M_50°	228
PLANOS		230

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Comparativa de los alerones de la temporada 2016 en las diferentes marcas.</i>	35
<i>Tabla 2: Número de Reynolds para el intervalo de velocidades</i>	50
<i>Tabla 3: C_L - Ángulo de ataque (α)</i>	51
<i>Tabla 4: C_D - Ángulo de ataque (α).....</i>	51
<i>Tabla 5: C_L/C_D - Ángulo de ataque (α).....</i>	52
<i>Tabla 6: $C_L - C_D$.....</i>	52
<i>Tabla 7: C_L - Ángulo de ataque (α)</i>	55
<i>Tabla 8: $C_L - C_D$.....</i>	56
<i>Tabla 9: C_L/C_D - Ángulo de ataque (α).....</i>	56
<i>Tabla 10: C_L obtenidos en el intervalo de número de Reynolds</i>	57
<i>Tabla 11: $C_L - Velocidad$.....</i>	58
<i>Tabla 12: Downforce (N) – Velocidad</i>	58
<i>Tabla 13: C_D obtenidos en el intervalo de número de Reynolds</i>	59
<i>Tabla 14: $C_D - Velocidad$</i>	59
<i>Tabla 15: Drag – Velocidad</i>	60
<i>Tabla 16: C_L/C_D obtenidos en el intervalo de número de Reynolds.....</i>	60
<i>Tabla 17: $C_L/C_D - Velocidad$</i>	61
<i>Tabla 18: Coeficiente de presiones en el perfil a $Re = 200.000$.....</i>	62
<i>Tabla 19: Coeficiente de presiones en el perfil a $Re = 300.000$.....</i>	63
<i>Tabla 20: Coeficiente de presiones en el perfil a $Re = 400.000$.....</i>	64
<i>Tabla 21: Coeficiente de presiones en el perfil a $Re = 500.000$.....</i>	65
<i>Tabla 22: Coeficiente de presiones en el perfil a $Re = 600.000$.....</i>	66
<i>Tabla 23: Coeficiente de presiones en el perfil a $Re = 700.000$.....</i>	67
<i>Tabla 24: Coeficiente de presiones en el perfil a $Re = 800.000$.....</i>	68
<i>Tabla 25: Coeficiente de presiones en el perfil a $Re = 900.000$.....</i>	69
<i>Tabla 26: Coeficiente de presiones en el perfil a $Re = 1.000.000$.....</i>	70
<i>Tabla 27: Puntos del perfil FX 74-CI5-140 (sustentación)</i>	74
<i>Tabla 28: Resultados de los alerones en el sistema de alerones fijos a 0°</i>	91
<i>Tabla 29: Resultados del alerón interior en el sistema de alerones fijos a 10°</i>	95
<i>Tabla 30: Resultados del alerón exterior en el sistema de alerones fijos a 10°</i>	96

<i>Tabla 31: Resultados del alerón interior en el sistema de alerones fijos a 20°</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 32: Resultados del alerón exterior en el sistema de alerones fijos a 20°</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 33: Resultados del alerón interior en el sistema de alerones fijos a 30°</i>	<i>105</i>
<i>Tabla 34: Resultados del alerón exterior en el sistema de alerones fijos a 30°</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 35: Resultados del alerón interior en el sistema de alerones fijos a 40°</i>	<i>110</i>
<i>Tabla 36: Resultados del alerón exterior en el sistema de alerones fijos a 40°</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 37: Resultados del alerón interior en el sistema de alerones fijos a 50°</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 38: Resultados del alerón exterior en el sistema de alerones fijos a 50°</i>	<i>116</i>
<i>Tabla 39: Tabla 39: Valores máximos de las tres fuerzas del sistema de alerones fijos según su inclinación</i>	<i>130</i>
<i>Tabla 40: Resultados de downforce y fcc a 200 km/h del alerón interior</i>	<i>130</i>
<i>Tabla 41: Gráfico Downforce - Fuerza contraria a la curva del alerón interior</i>	<i>131</i>
<i>Tabla 42: Resultados de los alerones en el sistema de alerones móviles a 0°</i>	<i>133</i>
<i>Tabla 43: Resultados del alerón interior en el sistema de alerones móviles a 10°</i>	<i>137</i>
<i>Tabla 44: Resultados del alerón exterior en el sistema de alerones móviles a 10°</i>	<i>138</i>
<i>Tabla 45: Resultados del alerón interior en el sistema de alerones móviles a 20°</i>	<i>142</i>
<i>Tabla 46: Resultados del alerón exterior en el sistema de alerones móviles a 20°</i>	<i>143</i>
<i>Tabla 47: Resultados del alerón interior en el sistema de alerones móviles a 30°</i>	<i>147</i>
<i>Tabla 48: Resultados del alerón exterior en el sistema de alerones móviles a 30°</i>	<i>148</i>
<i>Tabla 49: Resultados del alerón interior en el sistema de alerones móviles a 40°</i>	<i>152</i>
<i>Tabla 50: Resultados del alerón exterior en el sistema de alerones móviles a 40°</i>	<i>153</i>
<i>Tabla 51: Resultados del alerón interior en el sistema de alerones móviles a 50°</i>	<i>157</i>
<i>Tabla 52: Resultados del alerón exterior en el sistema de alerones móviles a 50°</i>	<i>158</i>
<i>Tabla 53: Resultados de downforce y fcc a 200 km/h</i>	<i>172</i>
<i>Tabla 54: Gráfico Downforce - Fuerza contraria a la curva</i>	<i>172</i>
<i>Tabla 55: Gráfico Downforce alerón fijo – alerón móvil</i>	<i>173</i>
<i>Tabla 56: Gráfico Fuerza CC alerón fijo – alerón móvil</i>	<i>173</i>
<i>Tabla 57: Gráfico drag alerón fijo – alerón móvil</i>	<i>174</i>
<i>Tabla 58: Comparativa de comportamiento de ambos sistemas</i>	<i>175</i>

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1: Distribución de fuerzas de los alerones en la motocicleta en curva</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 2: Esquema de flujo externo en un objeto</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 3: Definición del espesor de la capa límite (δ) y del espesor de desplazamiento (δ^*).....</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 4: Fuerza de sustentación (FL) y resistencia al avance (FD)</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 5: Esquema capa límite</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 6: Partes de un ala.....</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 7: Relación de aspecto envergadura-cuerda.....</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 8: Grafica CL-Angulo de ataque</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 9: Leslie Graham, Campeón del mundo de 500cc (1949).....</i>	<i>31</i>
<i>Ilustración 10: Moto Guzzi 500cc (1955)</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 11: Yamaha™ YZR 500cc (1975).....</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 12: Suzuki™ GSV-R (2007)</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 13: Ducati™ Desmosedici GP16 (2016)</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 14: Accidente en el Gran Premio de Argentina de 2016 entre Marc Márquez y Andrea Iannone)</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 15: Jorge Lorenzo pilotando la Ducati™ Desmosedici GP17 (2017)</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 16: Dani Pedrosa pilotando la Honda™ RC213V (2017)</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 17: Aprilia™ RSV4 RR.....</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 18: Ducati™ Panigale V4R.....</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 19: Ducati™ V4R del mundial de Superbikes.....</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 20: Yamaha YZR M1 800cc (2009)</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 21: Valentino Rossi pilotando la Yamaha™ YZR M1 (2009) en lluvia</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 22: Errores mostrados por Catia™ V5</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 23: Errores mostrados por Catia™ V5 en el carenado de la moto</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 24: Errores reparados en el carenado de la moto.....</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 25: 3D del carenado en Catia™ sin errores</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 26: Yamaha™ YZR M1 en SolidWorks™ con los errores solventados.....</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 27: Esquema clasificativo de los perfiles de ala según el número de Reynolds</i>	<i>47</i>

<i>Ilustración 28: Perfil FX 74-CL5-140.....</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 29: Perfil FX74_CL5-140 obtenido mediante el programa XFLR5™</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 30: Parámetros de estudio del perfil.....</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 31: Rango de valores del número de Reynolds</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 32: Leyenda de los distintos valores de Reynolds estudiados.....</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 33: Distribución de presiones a Re = 200.000</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 34: Capa límite a Re = 200.000</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 35: Distribución de presiones a Re = 300.000</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 36: Capa límite a Re = 300.000</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 37: Distribución de presiones a Re = 400.000</i>	<i>64</i>
<i>Ilustración 38: Capa límite a Re = 400.000</i>	<i>64</i>
<i>Ilustración 39: Distribución de presiones a Re = 500.000</i>	<i>65</i>
<i>Ilustración 40: Capa límite a Re = 500.000</i>	<i>65</i>
<i>Ilustración 41: Distribución de presiones a Re = 600.000</i>	<i>66</i>
<i>Ilustración 42: Capa límite a Re = 600.000</i>	<i>66</i>
<i>Ilustración 43: Distribución de presiones a Re = 700.000</i>	<i>67</i>
<i>Ilustración 44: Capa límite a Re = 700.000</i>	<i>67</i>
<i>Ilustración 45: Distribución de presiones a Re = 800.000</i>	<i>68</i>
<i>Ilustración 46: Capa límite a Re = 800.000</i>	<i>68</i>
<i>Ilustración 47: Distribución de presiones a Re = 900.000</i>	<i>69</i>
<i>Ilustración 48: Capa límite a Re = 900.000</i>	<i>69</i>
<i>Ilustración 49: Distribución de presiones a Re = 1.000.000</i>	<i>70</i>
<i>Ilustración 50: Capa límite a Re = 1.000.000</i>	<i>70</i>
<i>Ilustración 51: Perfil ala FX 74-CL5-140 (sustentación)</i>	<i>74</i>
<i>Ilustración 52: Perfil ala FX 74-CL5-140 (downforce)</i>	<i>74</i>
<i>Ilustración 53: Vista frontal del diseño de alerones fijos</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 54: Vista isométrica del diseño de alerones fijos</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 55: Vista superior del diseño de alerones fijos.....</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 56: Vista lateral del diseño de alerones fijos.....</i>	<i>77</i>
<i>Ilustración 57: Alerón de menor tamaño</i>	<i>78</i>
<i>Ilustración 58: Tapa del alerón de menor tamaño del mecanismo de engranajes.....</i>	<i>78</i>
<i>Ilustración 59: Conjunto tapa-alerón del mecanismo de engranajes.....</i>	<i>78</i>

<i>Ilustración 60: Tapa del alerón de menor tamaño del mecanismo de correa</i>	<i>79</i>
<i>Ilustración 61: Conjunto tapa-alerón del mecanismo de correa.....</i>	<i>79</i>
<i>Ilustración 62: Alerón de mayor tamaño</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 63: Conjunto tapa - alerón del alerón de mayor tamaño</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 64: Vista frontal del sistema de alerones móviles.....</i>	<i>81</i>
<i>Ilustración 65: Vista isométrica del sistema de alerones móviles.....</i>	<i>81</i>
<i>Ilustración 66: Vista de sección del sistema de alerones móviles</i>	<i>82</i>
<i>Ilustración 67: Ventana de wizard del FlowSimulation.....</i>	<i>84</i>
<i>Ilustración 68: Ventana de selección de unidades del FlowSimulation</i>	<i>85</i>
<i>Ilustración 69: Ventana de selección del tipo de flujo del FlowSimulation</i>	<i>86</i>
<i>Ilustración 70: Ventana de selección del fluido de trabajo del FlowSimulation</i>	<i>86</i>
<i>Ilustración 71: Ventana de condiciones de la geometría en el FlowSimulation</i>	<i>87</i>
<i>Ilustración 72: Ventana de selección de parámetros del fluido del FlowSimulation</i>	<i>87</i>
<i>Ilustración 73: Opciones de resultados del FlowSimulation</i>	<i>88</i>
<i>Ilustración 74: Ecuación ejemplo para la obtención de resultados</i>	<i>89</i>
<i>Ilustración 75: Vista frontal de la moto a 0° con el sistema de alerones fijos</i>	<i>93</i>
<i>Ilustración 76: Cut plot del alerón fijo a 0° a 300 km/h</i>	<i>93</i>
<i>Ilustración 77: Surface plot del alerón fijo a 0° a 300 km/h (parte superior)</i>	<i>94</i>
<i>Ilustración 78: Surface plot del alerón fijo a 0° a 300 km/h (parte inferior).....</i>	<i>94</i>
<i>Ilustración 79: Vista frontal de la moto a 10° con el sistema de alerones fijos</i>	<i>98</i>
<i>Ilustración 80: Cut plot del alerón fijo a 10° a 300 km/h</i>	<i>98</i>
<i>Ilustración 81: Surface plot del alerón fijo a 10° a 300 km/h (parte superior)</i>	<i>99</i>
<i>Ilustración 82: Surface plot del alerón fijo a 10° a 300 km/h (parte inferior).....</i>	<i>99</i>
<i>Ilustración 83: Vista frontal de la moto a 20° con el sistema de alerones fijos</i>	<i>102</i>
<i>Ilustración 84: Cut plot del alerón fijo a 20° a 300 km/h</i>	<i>103</i>
<i>Ilustración 85: Surface plot del alerón fijo a 20° a 300 km/h (parte superior)</i>	<i>103</i>
<i>Ilustración 86: Surface plot del alerón fijo a 20° a 300 km/h (parte inferior).....</i>	<i>104</i>
<i>Ilustración 87: Vista frontal de la moto a 30° con el sistema de alerones fijos</i>	<i>108</i>
<i>Ilustración 88: Cut plot del alerón fijo a 30° a 250 km/h</i>	<i>108</i>
<i>Ilustración 89: Surface plot del alerón fijo a 30° a 250 km/h (parte superior)</i>	<i>109</i>
<i>Ilustración 90: Surface plot del alerón fijo a 30° a 250 km/h (parte inferior).....</i>	<i>109</i>
<i>Ilustración 91: Vista frontal de la moto a 40° con el sistema de alerones fijos</i>	<i>113</i>

<i>Ilustración 92: Cut plot del alerón fijo a 40° a 250 km/h</i>	<i>113</i>
<i>Ilustración 93: Surface plot del alerón fijo a 40° a 250 km/h (parte superior)</i>	<i>114</i>
<i>Ilustración 94: Surface plot del alerón fijo a 40° a 250 km/h (parte inferior).....</i>	<i>114</i>
<i>Ilustración 95: Vista frontal de la moto a 50° con el sistema de alerones fijos</i>	<i>118</i>
<i>Ilustración 96: Cut plot del alerón fijo a 50° a 200 km/h</i>	<i>118</i>
<i>Ilustración 97: Surface plot del alerón fijo a 50° a 200 km/h (parte superior)</i>	<i>119</i>
<i>Ilustración 98: Surface plot del alerón fijo a 50° a 200 km/h (parte inferior).....</i>	<i>119</i>
<i>Ilustración 99: Imagen frontal de la moto recta con el sistema de alerones móviles ...</i>	<i>135</i>
<i>Ilustración 100: Cut plot del alerón móvil a 0° a 300 km/h</i>	<i>135</i>
<i>Ilustración 101: Surface plot del alerón móvil a 0° a 300 km/h (parte superior)</i>	<i>136</i>
<i>Ilustración 102: Surface plot del alerón móvil a 0° a 300 km/h (parte inferior)</i>	<i>136</i>
<i>Ilustración 103: Imagen frontal de la moto a 10° con el sistema de alerones móviles .</i>	<i>139</i>
<i>Ilustración 104: Cut plot del alerón móvil a 10° a 300 km/h</i>	<i>140</i>
<i>Ilustración 105: Surface plot del alerón móvil a 10° a 300 km/h (parte superior)</i>	<i>140</i>
<i>Ilustración 106: Surface plot del alerón móvil a 10° a 300 km/h (parte inferior).....</i>	<i>141</i>
<i>Ilustración 107: Imagen frontal de la moto a 20° con el sistema de alerones móviles .</i>	<i>145</i>
<i>Ilustración 108: Cut plot del alerón móvil a 20° a 300 km/h</i>	<i>145</i>
<i>Ilustración 109: Surface plot del alerón móvil a 20° a 300 km/h (parte superior)</i>	<i>146</i>
<i>Ilustración 110: Surface plot del alerón móvil a 20° a 300 km/h (parte inferior).....</i>	<i>146</i>
<i>Ilustración 111: Imagen frontal de la moto a 30° con el sistema de alerones móviles .</i>	<i>149</i>
<i>Ilustración 112: Cut plot del alerón móvil a 30° a 250 km/h</i>	<i>150</i>
<i>Ilustración 113: Surface plot del alerón móvil a 30° a 250 km/h (parte superior)</i>	<i>150</i>
<i>Ilustración 114: Surface plot del alerón móvil a 30° a 250 km/h (parte inferior).....</i>	<i>151</i>
<i>Ilustración 115: Imagen frontal de la moto a 40° con el sistema de alerones móviles .</i>	<i>155</i>
<i>Ilustración 116: Cut plot del alerón móvil a 40° a 250 km/h</i>	<i>155</i>
<i>Ilustración 117: Surface plot del alerón móvil a 40° a 250 km/h (parte superior)</i>	<i>156</i>
<i>Ilustración 118: Surface plot del alerón móvil a 40° a 250 km/h (parte inferior).....</i>	<i>156</i>
<i>Ilustración 119: Imagen frontal de la moto a 50° con el sistema de alerones móviles .</i>	<i>159</i>
<i>Ilustración 120: Cut plot del alerón móvil a 50° a 200 km/h</i>	<i>160</i>
<i>Ilustración 121: Surface plot del alerón móvil a 50° a 200 km/h (parte superior)</i>	<i>160</i>
<i>Ilustración 122: Surface plot del alerón móvil a 50° a 200 km/h (parte inferior).....</i>	<i>161</i>
<i>Ilustración 123: Motor paso a paso ST6018D4508-A</i>	<i>177</i>

<i>Ilustración 124: Motor paso a paso ST6018D4508-A en SolidWorks™</i>	178
<i>Ilustración 125: Servomotor Hitec™ Multiplex D980TW</i>	179
<i>Ilustración 126: Diseño en SolidWorks™ del Servomotor Hitec™ Multiplex D980TW</i> ..	179
<i>Ilustración 127: Diseño CAD de los engranajes cónicos</i>	181
<i>Ilustración 128: Dimensiones del rodamiento de bolas de SKF™ WBB1-8705R-2Z</i>	182
<i>Ilustración 129: Diseño CAD del rodamiento SKF™ WBB1-8705R-2Z</i>	182
<i>Ilustración 130: Eje de rotación del alerón móvil</i>	183
<i>Ilustración 131: Soporte del alerón móvil</i>	183
<i>Ilustración 132: Vista en planta del mecanismo de engranajes encargado de rotar el alerón móvil</i>	184
<i>Ilustración 133: Vista de sección del mecanismo de engranajes encargado de rotar el alerón móvil</i>	185
<i>Ilustración 134: Vista en planta del mecanismo de correa encargado de hacer rotar el alerón móvil</i>	186
<i>Ilustración 135: Vista de sección del mecanismo de correa encargado de hacer rotar el alerón móvil</i>	187
<i>Ilustración 136: Diagrama de fuerzas de la correa en la polea del eje de rotación</i>	187
<i>Ilustración 137: Propiedades mecánicas del acero inoxidable (ANSYS)</i>	188
<i>Ilustración 138: Deformación en el eje Z</i>	188
<i>Ilustración 139: Deformación en el eje Y</i>	189
<i>Ilustración 140: Deformación en el eje X</i>	189
<i>Ilustración 141: Deformación total</i>	189
<i>Ilustración 142: Equivalent Elastic Strain</i>	190
<i>Ilustración 143: Giroscopio de 3 ejes MPU-6050</i>	192
<i>Ilustración 144: Controlador Arduino UNO</i>	193
<i>Ilustración 145: Cut plot del sistema de alerones fijos a 0° a 250 km/h</i>	207
<i>Ilustración 146: Cut plot del sistema de alerones fijos a 0° a 200 km/h</i>	207
<i>Ilustración 147: Cut plot del sistema de alerones fijos a 0° a 150 km/h</i>	208
<i>Ilustración 148: Cut plot del sistema de alerones fijos a 0° a 100 km/h</i>	208
<i>Ilustración 149: Cut plot del sistema de alerones fijos a 10° a 250 km/h</i>	209
<i>Ilustración 150: Cut plot del sistema de alerones fijos a 10° a 200 km/h</i>	209
<i>Ilustración 151: Cut plot del sistema de alerones fijos a 10° a 150 km/h</i>	210

<i>Ilustración 152: Cut plot del sistema de alerones fijos a 10° a 100 km/h.....</i>	<i>210</i>
<i>Ilustración 153: Cut plot del sistema de alerones fijos a 20° a 250 km/h.....</i>	<i>211</i>
<i>Ilustración 154: Cut plot del sistema de alerones fijos a 20° a 200 km/h.....</i>	<i>211</i>
<i>Ilustración 155: Cut plot del sistema de alerones fijos a 20° a 150 km/h.....</i>	<i>212</i>
<i>Ilustración 156: Cut plot del sistema de alerones fijos a 20° a 100 km/h.....</i>	<i>212</i>
<i>Ilustración 157: Cut plot del sistema de alerones fijos a 30° a 300 km/h.....</i>	<i>213</i>
<i>Ilustración 158: Cut plot del sistema de alerones fijos a 30° a 200 km/h.....</i>	<i>213</i>
<i>Ilustración 159: Cut plot del sistema de alerones fijos a 30° a 150 km/h.....</i>	<i>214</i>
<i>Ilustración 160: Cut plot del sistema de alerones fijos a 30° a 100 km/h.....</i>	<i>214</i>
<i>Ilustración 161: Cut plot del sistema de alerones fijos a 40° a 300 km/h.....</i>	<i>215</i>
<i>Ilustración 162: Cut plot del sistema de alerones fijos a 40° a 200 km/h.....</i>	<i>215</i>
<i>Ilustración 163: Cut plot del sistema de alerones fijos a 40° a 150 km/h.....</i>	<i>216</i>
<i>Ilustración 164: Cut plot del sistema de alerones fijos a 40° a 100 km/h.....</i>	<i>216</i>
<i>Ilustración 165: Cut plot del sistema de alerones fijos a 50° a 300 km/h.....</i>	<i>217</i>
<i>Ilustración 166: Cut plot del sistema de alerones fijos a 50° a 250 km/h.....</i>	<i>217</i>
<i>Ilustración 167: Cut plot del sistema de alerones fijos a 50° a 150 km/h.....</i>	<i>218</i>
<i>Ilustración 168: Cut plot del sistema de alerones fijos a 50° a 100 km/h.....</i>	<i>218</i>
<i>Ilustración 169: Cut plot del sistema de alerones móviles a 0° a 200 km/h</i>	<i>219</i>
<i>Ilustración 170: Cut plot del sistema de alerones móviles a 0° a 100 km/h</i>	<i>219</i>
<i>Ilustración 171: Cut plot del sistema de alerones móviles a 10° a 250 km/h</i>	<i>220</i>
<i>Ilustración 172: Cut plot del sistema de alerones móviles a 10° a 200 km/h</i>	<i>220</i>
<i>Ilustración 173: Cut plot del sistema de alerones móviles a 10° a 150 km/h</i>	<i>221</i>
<i>Ilustración 174: Cut plot del sistema de alerones móviles a 10° a 100 km/h</i>	<i>221</i>
<i>Ilustración 175: Cut plot del sistema de alerones móviles a 20° a 250 km/h</i>	<i>222</i>
<i>Ilustración 176: Cut plot del sistema de alerones móviles a 20° a 200 km/h</i>	<i>222</i>
<i>Ilustración 177: Cut plot del sistema de alerones móviles a 20° a 150 km/h</i>	<i>223</i>
<i>Ilustración 178: Cut plot del sistema de alerones móviles a 20° a 100 km/h</i>	<i>223</i>
<i>Ilustración 179: Cut plot del sistema de alerones móviles a 30° a 300 km/h</i>	<i>224</i>
<i>Ilustración 180: Cut plot del sistema de alerones móviles a 30° a 200 km/h</i>	<i>224</i>
<i>Ilustración 181: Cut plot del sistema de alerones móviles a 30° a 150 km/h</i>	<i>225</i>
<i>Ilustración 182: Cut plot del sistema de alerones móviles a 30° a 100 km/h</i>	<i>225</i>
<i>Ilustración 183: Cut plot del sistema de alerones móviles a 40° a 300 km/h</i>	<i>226</i>

<i>Il·lustració 184: Cut plot del sistema de alerons mòvils a 40° a 200 km/h</i>	<i>226</i>
<i>Il·lustració 185: Cut plot del sistema de alerons mòvils a 40° a 150 km/h</i>	<i>227</i>
<i>Il·lustració 186: Cut plot del sistema de alerons mòvils a 40° a 100 km/h</i>	<i>227</i>
<i>Il·lustració 187: Cut plot del sistema de alerons mòvils a 50° a 300 km/h</i>	<i>228</i>
<i>Il·lustració 188: Cut plot del sistema de alerons mòvils a 50° a 250 km/h</i>	<i>228</i>
<i>Il·lustració 189: Cut plot del sistema de alerons mòvils a 50° a 150 km/h</i>	<i>229</i>
<i>Il·lustració 190: Cut plot del sistema de alerons mòvils a 50° a 100 km/h</i>	<i>229</i>

1. OBJETO DEL PROYECTO

El TFG se ha realizado para completar la formación en el grado de ingeniería mecánica de la Universidad Politécnica de Cataluña.

Se ha elegido como tema del trabajo, después de consensuarlo entre los dos integrantes del proyecto y el tutor, el estudio, diseño y análisis de una mejora aerodinámica de una motocicleta de competición basada en un diseño de un sistema de alerones móviles.

La aerodinámica nunca ha sido una parte de las más fundamentales dentro del diseño de una motocicleta, hasta que hace unos años, en la élite se comenzó a invertir en este aspecto y las motos de la categoría de MotoGP™ implementaron unos alerones o *winglets* que permiten a las máquinas mejorar su salida de curva ya que, gracias al *downforce* producido por éstas, la rueda delantera mantiene un mayor contacto con el asfalto y permite una mayor tracción y aceleración de la moto. Estas piezas se colocan en la parte delantera, normalmente en la parte media superior del carenado, debajo de la cúpula.

El motivo de la elección del tema es que al ser un aspecto relativamente nuevo en el mundo de la motocicleta, nos interesa poder estudiarlo y analizarlo para aportar mejoras que permitan un mejor comportamiento de estos elementos en las motos actuales.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

A lo largo de la historia de las motocicletas de competición el hecho de utilizar alerones, como un complemento de mejora aerodinámico, no se ha considerado una muy buena opción, ya que el uso de las fuerzas de sustentación negativa para el beneficio aerodinámico siempre ha tenido inconvenientes como que el provecho que se conseguía en salida de curva, se compensaba negativamente en el recorrido del ápice de ella.

Como podemos observar en la *Ilustración 1*, la motocicleta que tiene instalados dos perfiles aerodinámicos, al estar inclinada en curva tiene la siguiente distribución de fuerzas. La fuerza resultante se opone al giro que quiere realizar la motocicleta, por lo que resulta un efecto negativo.

Por lo cual, hay que evitar en lo máximo posible esta situación, y para ello, se ha diseñado un sistema que mantenga paralelos al asfalto los alerones en función del ángulo de curvatura de la moto, lo que provocara que la distribución de fuerzas de los alerones sean iguales, la mayor parte del tiempo, en recta que en curva y, por lo tanto, se conseguirá que los efectos negativos que se producen en curva desaparezcan o que se reduzcan en gran medida.

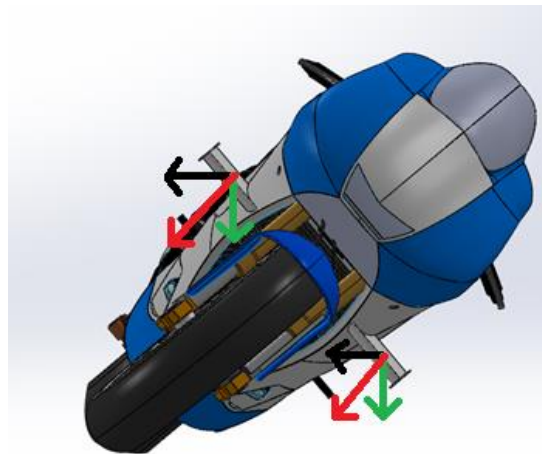


Ilustración 1: Distribución de fuerzas de los alerones en la motocicleta en curva

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En este punto se van a exponer las bases teóricas en las cuales nos vamos a basar para llevar a cabo el proceso de estudio y diseño del TFG. Principalmente se presentarán algunos aspectos de la mecánica de fluidos, uno será el uso del aire como fluido de trabajo en flujo externo.

3.1. MECÁNICA DE FLUIDOS

Esta ciencia estudia las leyes del movimiento de los fluidos y sus procesos de interacción con los cuerpos sólidos. La propiedad fundamental que caracteriza a los fluidos (líquidos y gases) es que carecen de rigidez y en consecuencia se deforman fácilmente. Por este motivo un fluido no tiene forma y diferentes porciones del mismo se pueden acomodar dentro del recipiente que lo contiene. Como el fluido que se va a estudiar en este proyecto es el aire, y su estado es gaseoso, se explican algunas características de este tipo de fluidos:

- **GASES.** Presentan una gran compresibilidad, que influye sobre las características del flujo, ya que tanto el volumen como la densidad varían con facilidad. En el caso de los gases el movimiento térmico vence a las fuerzas atractivas y, por tanto, tienden a ocupar todo el volumen del recipiente que los contiene.

3.2. DESCRIPCIÓN DE UN FLUIDO. HIPÓTESIS DEL CONTINUO

Esta hipótesis consiste en suponer que los fluidos son medios en los que magnitudes tales como la masa, la cantidad de movimiento, la energía, etc., están distribuidas en el espacio de forma continua, y suele ser aceptable para caracterizar los fluidos en la inmensa mayoría de las situaciones de interés.

Con el objetivo de describir el movimiento del fluido se puede recurrir a las leyes generales de la Mecánica (leyes de Newton, leyes de conservación de la cantidad de movimiento y de la energía) y a las relaciones específicas condicionadas por la fluidez.

3.3. TEOREMA DE BERNOULLI

Este teorema enuncia que se produce una disminución de la presión de un fluido en movimiento cuando éste aumenta su velocidad. De manera más general, el teorema afirma que la energía total de un sistema de fluidos con flujo uniforme permanece constante a lo largo de la trayectoria que realiza.

$$P_1 + \frac{\rho \cdot c_1^2}{2} + \rho \cdot g \cdot z_1 = P_2 + \frac{\rho \cdot c_2^2}{2} + \rho \cdot g \cdot z_2$$

Ecuación 4: Teorema de Bernoulli

Donde:

- P_i : presión
- ρ : densidad
- c_i : velocidad
- z_i : altura
- g : aceleración de la gravedad

3.4. FLUJO EXTERNO Y AERODINÁMICA

En flujo externo se tiene el movimiento de un objeto en el seno de un fluido; conforme el objeto va penetrando en el fluido, las partículas son arrastradas y adquieren unas determinadas distribuciones de velocidad y de presión.

Cuando nuestro sistema de referencia es un sistema inercial fijo, tenemos un flujo que se dirige hacia el objeto a estudiar, y que está compuesto por dos regiones: una región viscosa llamada capa límite, que se encuentra en las proximidades de la superficie del objeto y una región exterior no viscosa.

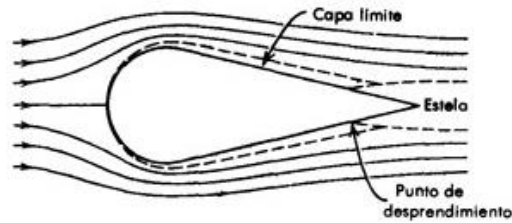


Ilustración 2: Esquema de flujo externo en un objeto

(<https://monografias.com/trabajos10/resumen/resumen.shtml>)

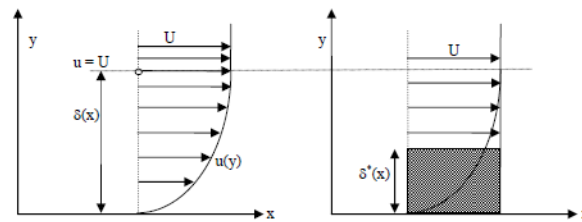


Ilustración 3: Definición del espesor de la capa límite (δ) y del espesor de desplazamiento (δ*)

Cuando un objeto que se encuentra bajo la influencia de flujo externo aparecen dos fuerzas en el mismo, que determinan su comportamiento aerodinámico. Estas fuerzas son las siguientes:

- Resistencia al avance o **drag**: es una fuerza con la misma dirección que el flujo. Siempre existe y está dirigida aguas abajo.

$$F_D = C_D \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c^2 \cdot A \cdot \cos(\alpha) \rightarrow A = A_{\text{frontal flujo}}$$

Ecuación 1: Fuerza de resistencia aerodinámica o drag

- Fuerza de sustentación o **lift**: es una fuerza perpendicular al flujo, Solo existe cuando no hay simetría y su sentido puede ser hacia arriba o hacia abajo. Si la fuerza resultante es hacia el piso, la denominamos **downforce** o **carga aerodinámica**.

$$F_L = C_L \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c^2 \cdot A \cdot \cos(\alpha) \rightarrow A = A_{\text{perpendicular flujo}}$$

Ecuación 2: Fuerza de sustentación o *downforce*

Donde:

- F_L : fuerza de sustentación o downforce (negativa)
- F_D : resistencia al avance
- C_D : coeficiente de resistencia
- C_L : coeficiente de sustentación (negativo en este proyecto)
- ρ : densidad del fluido
- c : velocidad del fluido
- A : área
- α : ángulo de ataque

Estas fuerzas son las resultantes de las fuerzas de presión (perpendicular al cuerpo) y de rozamiento (tangentes al cuerpo).

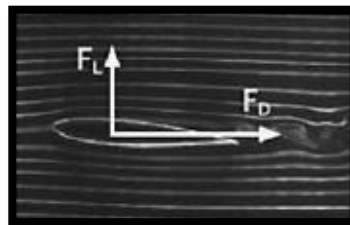


Ilustración 4: Fuerza de sustentación (FL) y resistencia al avance (FD)

En casos generales de aerodinámica se busca que la sustentación sea lo más elevada posible, pero en nuestro caso buscaremos que esta obtengan valores negativos, porque nuestro objetivo principal es buscar el máximo agarre posible del tren delantero de la motocicleta al suelo originando el caso contrario a la sustentación, llamado carga aerodinámica.

La geometría del objeto que se encuentra bajo influencia del flujo externo influye en cómo será el valor de estas dos fuerzas ya que determina el valor de dos coeficientes, el coeficiente de resistencia (C_D) y el coeficiente de sustentación (C_L) y, ambos se encuentran en las expresiones de sus fuerzas. También cabe decir que las fuerzas

también son función del número de Reynolds y del ángulo de ataque del objeto a estudiar.

En este caso el Reynolds se expresa en función de la cuerda (L) del elemento:

$$R_e = \frac{\rho \cdot c \cdot L}{\mu}$$

Ecuación 3: Número de Reynolds

Donde:

- R_e : número de Reynolds
- ρ : densidad
- c : velocidad
- L : cuerda
- μ : viscosidad dinámica

3.4.1. ECUACIÓN NAVIER-STOKES

Las ecuaciones de Navier-Stokes son un conjunto de ecuaciones en derivadas parciales no lineales, que describen el movimiento de un fluido. El movimiento de un fluido viene determinado por cuatro factores: la presión, densidad, temperatura y el vector velocidad (V_x , V_y , V_z) del fluido a estudiar.

No existe una solución general a estas ecuaciones, hay soluciones a problemas concretos aplicando sus respectivas condiciones de contorno e iniciales. En este proyecto se ha hecho uso del *Computational Fluid Dynamics* (CFD) que, mediante métodos numéricos, en base a nuestro planteamiento, obtiene las soluciones correspondientes.

3.4.2. CAPA LÍMITE

La capa límite es la fina superficie que se crea cuando un flujo, que fluye libremente, se topa con un obstáculo sólido, originando así una pérdida de fricción. La capa límite se

entiende como tal, cuando genera una variación, ya sea mínima o máxima, en la velocidad del fluido respecto al sólido.

La capa límite puede ser turbulenta, laminar o bien ambas. En el sector de la aeronáutica interesa en muchos casos obtener capas límites turbulentas, ya que estas se mantienen pegadas a los perfiles alares para altos ángulos de ataque. Con esto se consigue reducir el *drag* y obtener una mayor carga aerodinámica.

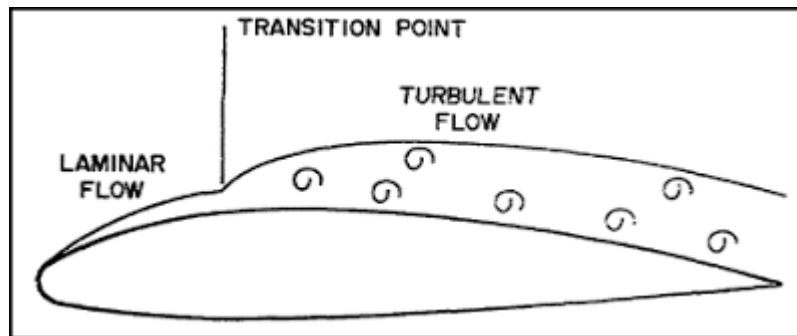


Ilustración 5: Esquema capa límite

(http://www.191rcacspa.ca/_mndata/191/uploaded_files/Level%204%20Aviation%20Assessment%20Review.pdf)

Como se ha explicado en el objeto del proyecto, nuestro trabajo se basa en la optimización de los alerones que cada vez se utilizan más en las competiciones de motociclismo, un complemento en la aerodinámica actual de las motocicletas que cada vez tienen más protagonismo.

Para poder entender bien todos los procedimientos que nos ha llevado a nuestro resultado final, vamos a exponer, resumidamente, los conceptos generales que afectan de una forma u otra al comportamiento de los alerones.

3.4.3. PERFIL DE ALA

Un cuerpo que posee una forma tal que permite aprovechar al máximo las fuerzas originadas por las variaciones de velocidades y presiones de una corriente de aire se denomina perfil aerodinámico. Y se compone de las siguientes partes:

- **Perfil alar.** Es la forma de la sección del ala que vemos transversalmente.

- **Borde de ataque.** Es la parte delantera del ala que primero toma contacto con el flujo de aire, tiene una forma radial.
- **Borde de salida.** Es la parte posterior del ala, donde se unen la zona superior e inferior del perfil, acostumbra a ser una zona estrecha.
- **Extradós.** Parte superior del ala que está entre los bordes de ataque y de salida.
- **Intradós.** Parte inferior del ala que está entre los bordes de ataque y de salida.
- **Espesor máximo.** Distancia máxima entre el extradós y el intradós.
- **Cuerda.** Es una línea recta imaginaria que va entre los bordes de ataque y de salida en cada perfil alar.
- **Curvatura.** Es la curva del ala desde el borde de ataque al borde de salida. La curvatura máxima se refiere a la de la superficie superior (extradós) y la media a la de la superficie inferior (intradós) y curvatura media a la equidistante a ambas superficies. Este valor es inexistente en perfiles de ala simétricos.

La siguiente imagen muestra esquemáticamente las diferentes partes que forman un ala:

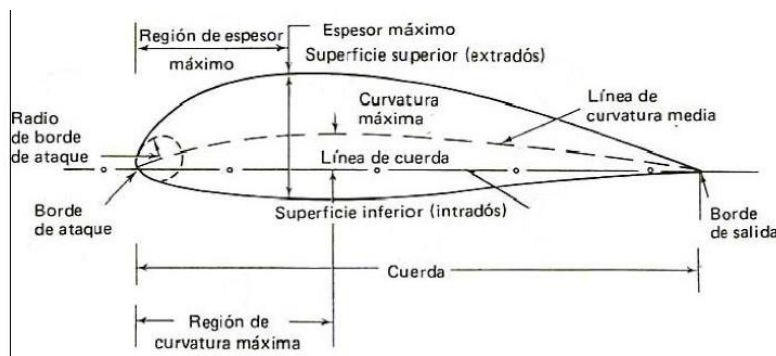


Ilustración 6: Partes de un ala

(https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Perfil_alar_1.svg)

El espesor máximo de un ala viene expresado por la letra “t” y es un porcentaje de la dimensión de la línea de cuerda, este es el mismo caso que cuando definimos el valor de la línea de curvatura media, pero a diferencia del espesor máximo esta se expresa con las letras “LC”.

La relación entre el ancho o envergadura de un ala y la cuerda se denomina relación de aspecto. En el mundo de la aviación esta relación tiene valores muy elevados, pero en nuestro caso buscaremos valores cercanos a la unidad.



Ilustración 7: Relación de aspecto envergadura-cuerda

(McBeath, Simon (2005). "Aerodinámica del automóvil de competición", CEAC.)

3.4.4. PARÁMETROS INFLUYENTES EN LA CARGA AERODINÁMICA

Según la fórmula de la carga aerodinámica, ésta está influida por cuatro factores de los cuales nosotros solo podemos actuar en dos de ellos, ya que resulta imposible influir en la densidad del aire y la velocidad depende de la zona del circuito.

- **ÁNGULO DE ATAQUE**

El ángulo de ataque es uno de los factores más influyentes sobre la carga aerodinámica, y se define como el ángulo entre la línea de cuerda del ala y la horizontal del fluido, y tal como se puede apreciar en la *Ilustración 8* a medida que el ángulo aumenta la sustentación o la carga aerodinámica también lo hace.

Cuando el ángulo de ataque es crítico se origina un fenómeno llamado entrada en pérdida. Este fenómeno consiste en que el flujo que fluye sobre un perfil aerodinámico genera una brusca pérdida de sustentación debido a que el flujo de aire que pasa por la zona superior no puede recorrer el perfil alar en su totalidad o, en nuestro caso, la zona inferior.



Ilustración 8: Grafica CL-Ángulo de ataque

(https://www.manualvuelo.es/1pbav/13_fuerz.html)

- **GEOMETRIA DEL PERFIL ALAR**

El perfil geométrico de nuestra alerón tiene la función de conseguir que el aire que impacta sobre ésta vaya más rápido por su parte inferior y más lento en su parte superior, con ello hay más presión en la parte superior lo que supondrá un incremento de la carga y que la rueda delantera tenga más agarre al suelo y tenga una salida más rápida en curva.

Existen dos puntos de la geometría que hay que tener en cuenta a la hora de realizar todos los estudios y cálculos necesarios, estos son el centro de presiones y el centro aerodinámico:

- **Centro de presiones:** físicamente hablando, en un cuerpo, el cual está sometido a diversas fuerzas, hay un punto en el que existe un equilibrio de fuerzas, dándose el fenómeno llamado centro de gravedad. En la aerodinámica esto también existe y se llama centro de presiones. El centro de presiones se puede definir como el punto donde alrededor el momento aerodinámico que se genera es cero.

Una vez sabemos dónde se halla el centro de presiones, podemos saber cuál es el momento que se genera en cualquier punto de nuestro perfil aerodinámico, simplemente multiplicando la sustentación por el brazo del momento.

El centro de presiones varía en función del ángulo de ataque, pero en el caso de obtener un perfil simétrico, la posición del centro de presiones es totalmente independiente del ángulo de ataque.

- **Centro aerodinámico:** es el punto en el cual, si cambiamos el ángulo de ataque de este perfil, el momento no cambia. En el caso de tener un perfil simétrico el centro aerodinámico coincide con el centro de presiones, ya que es en este punto donde el momento es nulo.

Para perfiles asimétricos alrededor del punto donde se encuentra el centro aerodinámico, el momento de cabeceo es diferente a cero.

4. AERODINÁMICA EN LAS MOTOCICLETAS

Dentro del mundo del motociclismo existen varios tipos de motocicletas, estos tipos vienen definidos por una serie de aspectos como su motor (cilindrada, potencia,...), el terreno en el cual se mueven (asfalto o tierra) o la utilidad (ciudad, carretera,...), entre otros.

Dependiendo de la utilidad que tenga la moto, la aerodinámica de la misma será más o menos sofisticada. Si se analiza el mundo “*off-road*”, se ve que las monturas no tienen grandes carenados o cúpulas ya que, debido a su velocidad, no es tan importante el hecho de tener un gran rendimiento aerodinámico. Las motos de competición de asfalto en cambio, contienen unas cubiertas mucho más estudiadas y complejas, aspecto que da a entender la importancia de la aerodinámica dentro de este mundo, y su utilidad.

Para entender de mejor manera como ha ido ganando importancia este sector dentro del mundo de la moto, se ha realizado una introducción histórica acerca de las monturas de los campeonatos de motociclismo.

4.1. HISTÓRIA EN LA AERODINÁMICA DEL MOTOCICLISMO DE COMPETICIÓN

En este punto se van a exponer las diferentes etapas que han ido viviendo los campeonatos a medida que pasaban los años en cuanto a aspectos aerodinámicos. A medida que han avanzado los años, los equipos y estructuras del campeonato han ido mejorando en este campo para poder encontrar un rendimiento óptimo de las motos y se han dado cuenta de que el hecho de tener una aerodinámica eficiente es un aspecto imprescindible para conseguir un buen tiempo por vuelta.

4.1.1. MOTOCICLETAS SIN CARENAR

Si nos remontamos a los inicios de la competición, las motos que corrían en el campeonato del mundo eran máquinas bastante menos sofisticadas de lo que son ahora, tanto en aspectos de motor y chasis, como en aerodinámica, ya que no disponían de carenados aerodinámicos que permitieran reducir el *drag* producido por el piloto y las irregularidades de la máquina.



Ilustración 9: Leslie Graham, Campeón del mundo de 500cc (1949)

(<https://www.motorpasionmoto.com/>)

Como podemos ver en la *Ilustración 9*, las motos de aquellos años simplemente estaban formadas por la estructura o chasis. Posteriormente, se fue investigando y se comenzaron a implementar carenados que permitían aumentar el rendimiento aerodinámico y su velocidad.

4.1.2. MOTOS CARENADAS



Ilustración 10: Moto Guzzi 500cc (1955)

(<http://revista400.cc/>)

Fue a partir de los años 50 cuando las marcas comenzaron a darse cuenta que en los ámbitos de la competición, la aerodinámica era un aspecto importante para conseguir aumentar el rendimiento de sus motos, por eso varias marcas comenzaron a implementar carenados.

Como se puede apreciar en la *Ilustración 10*, los primeros diseños de carenados no tenían ninguna función que no fuese la de reducir la resistencia. Eran carenados que carecían de irregularidades y de esta manera, conseguían que el flujo de aire no se encontrara con obstáculos que le frenaran, produciendo de esa manera el menor *drag* posible. Además, eran carenados mucho más simples que los actuales, y mucho menos estudiados.

A medida que pasaban los años, los carenados implementados en las motos iban ganando complejidad hasta convertirse en obras de ingeniería estudiadas de una manera mucho más extensa.

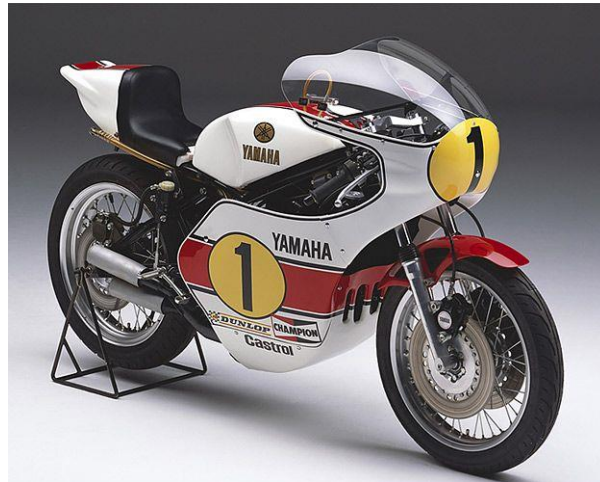


Ilustración 11: Yamaha™ YZR 500cc (1975)

(<http://www.bikeexif.com/yzr500>)



Ilustración 12: Suzuki™ GSV-R (2007)

(<https://in.motorsport.com/>)

No fue hasta 2016 cuando la marca italiana Ducati™ comenzó a desarrollar carenados aerodinámicos que, aparte de reducir la resistencia aerodinámica, generasen carga.

4.1.3. A PARTIR DE 2016 HASTA AHORA

En 2016 el equipo de fábrica Ducati™ decidió introducir unos apéndices parecidos a los de un Fórmula 1 y con la misma función, provocar carga aerodinámica en sus motos. La

localización de estos era la parte delantera de las monturas, entre la cúpula y los carenados laterales.

Se introdujeron ya que la potencia de estas motos provocaba que sufrieran un fenómeno llamado “*wheelie*” en la salida de las curvas, que producía un levantamiento de la rueda delantera y una disminución de la tracción. La electrónica no era capaz, y sigue sin serlo, de regular el intervalo de tiempo que transcurre desde que la centralita corta la potencia hasta que la devuelve para evitar ese fenómeno. Por ello se puede decir que el efecto más buscado de estos apéndices es el de “anti-wheelie”.



Ilustración 13: Ducati™ Desmosedici GP16 (2016)

(<https://www.motociclismo.es/>)

Durante toda la pretemporada las demás marcas decidieron invertir también en este aspecto ya que empezaron a ver que podían aumentar el rendimiento general de la moto y comenzaron a mostrar sus diseños de alerones en sus respectivas motos.

A medida que pasaba la temporada 2016 se produjeron distintos accidentes donde las aletas podrían haber producido algún daño, y distintos pilotos dieron a entender que estos apéndices provocaban situaciones de peligro ya que podían ser cortantes a determinadas velocidades contra los pilotos en caso de contacto. Después de aquello la organización decidió suprimirlos para la temporada siguiente para evitar esos peligros.



Ilustración 14: Accidente en el Gran Premio de Argentina de 2016 entre Marc Márquez y Andrea Iannone)

 (<https://www.motociclismo.es/>)

HONDA	DUCATI	YAMAHA	SUZUKI	APRILIA
				

Tabla 1: Comparativa de los alerones de la temporada 2016 en las diferentes marcas

En la pretemporada 2017 los equipos buscaron la manera de mantener estos alerones y poderlos homologar dentro del reglamento, por ello buscaron nuevos diseños para evitar las restricciones. El resultado fue incluir o camuflar los alerones dentro del propio carenado y quitar los posibles cantos vivos que provocaban las situaciones de peligro de la temporada anterior. Como en el año 2016, el primer constructor que presentó un diseño instalado en la moto fue Ducati™ y, posteriormente, fueron los demás los que presentaron los suyos. La organización decidió aceptar los nuevos diseños al ser catalogados como carenados y no como *winglets* y ver que sus diseños no provocaban un peligro añadido a los pilotos en la pista.



Ilustración 15: Jorge Lorenzo pilotando la Ducati™ Desmosedici GP17 (2017)

(<https://www.corsedimoto.com/>)



Ilustración 16: Dani Pedrosa pilotando la Honda™ RC213V (2017)

(<https://www.autobild.es/>)

En esta última temporada 2018 los equipos han mantenido el mismo formato de carenados cambiando el diseño de algunos de ellos.

Para la temporada 2019 otra vez Ducati™ ha decidido innovar en este campo y ha diseñado un conjunto de alerones, pero esta vez van colocados en la parte trasera de la moto, algo que aún no se había visto en MotoGP™. Falta por ver que comportamiento y rendimiento le darán a la moto ya que hasta ahora solo se han probado en algunos tests y no hay datos suficientes para comprobar su funcionalidad.

Otro aspecto que cabe destacar es que, en el pasado Salón de la moto (EICMA) celebrado en Milán en 2018, diversas marcas presentaron sus nuevas máquinas para el año 2019 y

tales como Ducati™ y Aprilia™, en sus motos *Supersport* homologadas para la circulación en la carretera, incluyeron alerones.



Ilustración 17: Aprilia™ RSV4 RR

(<https://www.solomoto.es/>)



Ilustración 18: Ducati™ Panigale V4R

(<https://www.motorpasionmoto.com/>)

Además, el Campeonato Mundial de Superbikes SBK™, al ser un evento donde compiten motos derivadas de serie, también han comenzado a introducir alerones en sus máquinas.



Ilustración 19: Ducati™ V4R del mundial de Superbikes

(<https://es.motorsport.com/>)

Después de este repaso a la historia podemos ver que la aerodinámica cada vez gana más importancia en el mundo del motociclismo, no solo en el mundo de la competición sino que también en las motocicletas que se pueden encontrar actualmente por la carretera, y que su campo de estudio es cada vez más amplio.

5. ELECCIÓN DE LA MOTOCICLETA

Después de este repaso a la historia podemos ver que la aerodinámica cada vez gana más importancia en el mundo de la motocicleta, por ello se ha decidido buscar un modelo de moto de competición con la cual podamos realizar el estudio de una manera lo más precisa posible basándonos en su funcionamiento y terreno de trabajo.

5.1. MODELO DE MOTOCICLETA

En nuestro caso se ha decidido enfocar el trabajo en una moto tipo carenada o sport ya que, según sus prestaciones y velocidad, es la que necesita de una aerodinámica más compleja. Para ser más exactos, nos hemos centrados en motos que compiten o han competido en el campeonato del mundo de MotoGP™ o SBK™ ya que son las máquinas más sofisticadas y veloces del mundo en circuito y, en los últimos años, las distintas marcas han ido avanzando e invirtiendo en su aerodinámica.

La moto seleccionada ha sido la Yamaha™ YZR M1 del campeonato de MotoGP™ de la temporada 2009 ya que sus prestaciones coinciden con las necesarias para llevar a cabo un estudio extenso acerca de su aerodinámica y, más concretamente, acerca de la implantación de nuestro sistema de alerones móviles. Es sabido que la moto que se va a estudiar y en la cual se van a implementar los alerones no es actual y que en esos años no se utilizaban estos elementos aerodinámicos, pero el hecho de poder encontrar su diseño realizado ha facilitado mucho el estudio. Además, ha sido la única moto encontrada que se había realizado con las medidas reales y no a escala, hecho que ha facilitado mucho el diseño de los alerones y los estudios posteriores ya que son a tamaño y medidas reales.

A continuación se exponen sus características técnicas, que se han podido encontrar en un artículo de la página web de la conocida revista española *Motociclismo*:

MOTOR	Tetracilíndrico de 800cc de 4T de refrigeración líquida con cigueñal calado a 90°.
POTENCIA	Más de 200 CV (147 KW)
TRANSMISIÓN	Caja de cambios extraíble de seis marchas con distintas relaciones disponibles.
VELOCIDAD MÁXIMA	Cerca de 340 km/h
CHASIS	Doble viga de aluminio tipo Deltabox multiajustable. Bascultante de aluminio.
SUSPENSIÓN	Horquilla invertida y mono-amortiguador Öhlins™. Ambas con regulación en precarga, compresión y extensión. Diferentes bieletas disponibles.
LLANTAS	Marchesini™ 16,5 delantera y 16,5 trasera. Disponibles diferentes anchuras.
RUEDAS	Bridgestone™ de 16,5 pulgadas en ambos trenes de tipo «slick», intermedios, de agua y cortados a mano.
FRENOS	Pinzas Brembo™ radiales de doble pistón con discos de carbono de 320 mm. Disco trasero de acero de 220 mm mordido por pinza Brembo™ de doble pistón.
PESO	148 Kg, según exigía el reglamento de la FIM.



Ilustración 20: Yamaha YZR M1 800cc (2009)

[\(https://www.motociclismo.es/\)](https://www.motociclismo.es/)



Ilustración 21: Valentino Rossi pilotando la Yamaha™ YZR M1 (2009) en lluvia

(<https://www.flickr.com/>)

Como se puede ver en las características técnicas, es una moto que cumple con los requisitos establecidos para la realización de este proyecto ya que, es una moto potente y que alcanza velocidades superiores a 340 km/h. Además, dispone de elementos aerodinámicos los suficientemente estudiados para poder implementar de una manera correcta nuestros diseños.

Una vez estudiada la moto y de ver que se adapta perfectamente a las necesidades del proyecto, se ha procedido a la obtención de su diseño en *CAD*. Para poder obtener el diseño hemos recurrido al portal libre *GrabCad*. El poder tener un diseño completo de la moto nos ha facilitado mucho el estudio de los *winglets*, ya que nos ha permitido el estudio de los sistemas de alerones de una manera conjunta con la moto.

5.2. DISEÑO CAD DE LA MOTOCICLETA

El diseño de la motocicleta Yamaha™ YZR M1 se ha obtenido, en un primer momento, en un tipo de archivo IGS, este es generalmente utilizado para poder traspasar archivos de diseño de un programa a otro distinto, el problema que conlleva este tipo de archivos es que en muchas ocasiones la geometría del diseño hecho en 3D se ve modificada, desplazando superficies, geometrías e incluso cambios en el eje principal del diseño.

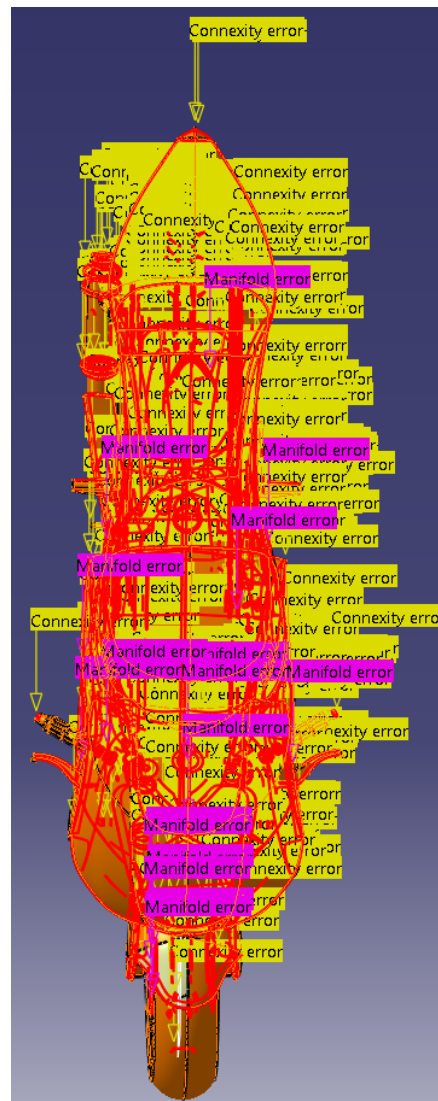
En la mayoría de los proyectos ingenieriles el modo de diseño no es el comúnmente impartido en las universidades, se trata de un modo de diseño llamado modo de superficies, este permite diseñar capas a espesor cero pudiendo realizar formas más precisas a la realidad.

Gracias al conocimiento del programa Catia™ V5. Se ha decidido realizar las tareas de reparación de la geometría con dicho programa, ya que el modo de superficies de Catia™ es mucho más potente que el de SolidWorks™.

Al abrir el proyecto en Catia™ se ha empezado intentando realizar un *join*, que permite unir todas las superficies en una sola, quedándote solo un cuerpo geométrico, si la geometría es correcta el programa debería realizar dicho *join*, sino nos podría dar 2 tipos de errores:

- **Mainfold errors:** se origina cuando existe un solapamiento entre dos superficies.
- **Connectivity error:** se origina cuando no hay conexión entre dos superficies, el rango máximo que determina si una superficie está separada o junta se determina en el mismo menú de la herramienta *join*, y en este caso es 0,01mm.

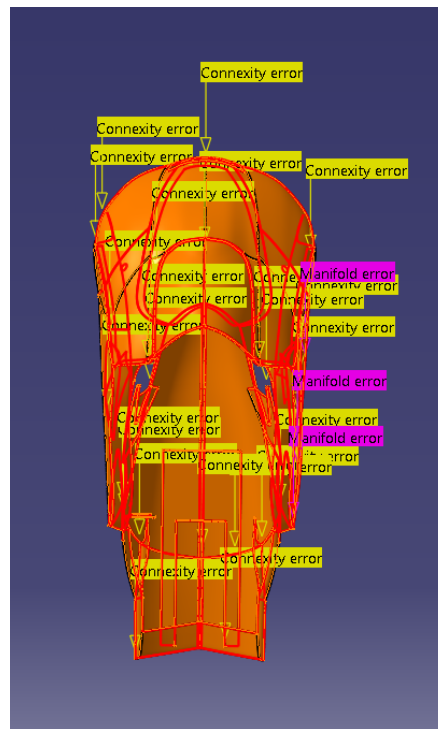
Al realizarse el *join* se encontraron los siguientes errores:



Il·lustració 22: Errores mostrats per Catia™ V5

Como se trata de un estudio aerodinámico de la motocicleta, es totalmente innecesario realizar un arreglo de todos los errores que se existen en todas las zonas, como son el radiador o cualquier componente donde el aire no es un factor determinante, por lo que se ha decidido hacer una selección de las geometrías que sí eran necesarias para realizar el estudio CFD.

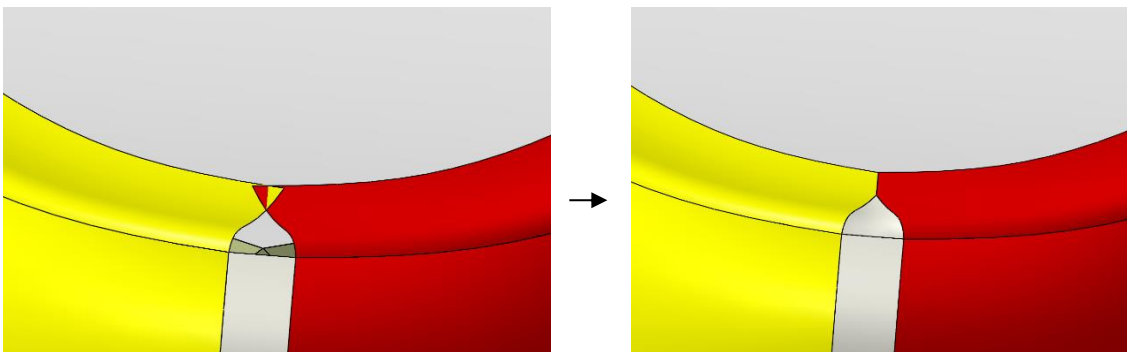
La siguiente imagen muestra las partes imprescindibles para realizar el estudio aerodinámico, que son básicamente las que componen el carenado de la moto:



Il·lustració 23: Errores mostrats per Catia™ V5 en el carenado de la moto

Como puede observarse en la imagen existían ambos errores de los argumentados anteriormente, por lo que se ha ido tramo por tramo de toda el carenado arreglando aquellas superficies que pudiesen tenerlos.

En las siguientes imágenes se puede apreciar algunas de las tareas que se han ido realizando en toda la moto.



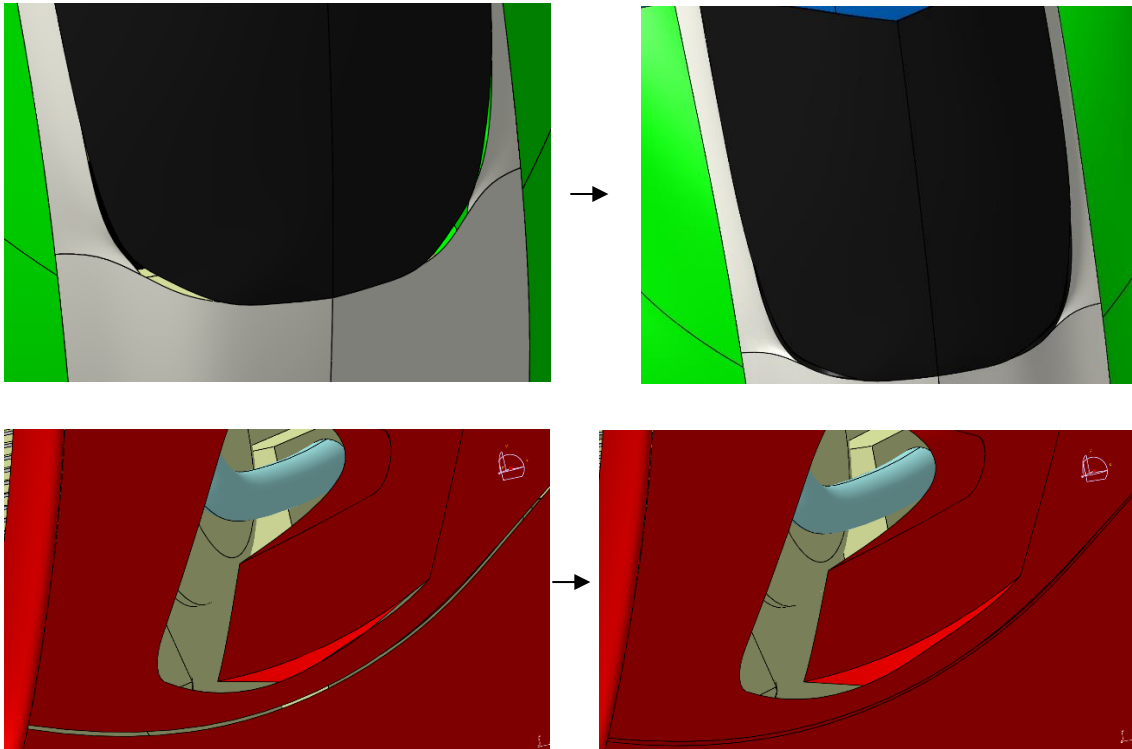


Ilustración 24: Errores reparados en el carenado de la moto

La mayoría de errores venían originados por un error de conexión y con herramientas para alargar las superficies (Extrapol) y las herramientas de cortar (Split y Trim), se han reparado todas las superficies erróneas. Finalmente, utilizando la herramienta “Join” se ha obtenido como resultado la moto en una sola pieza.

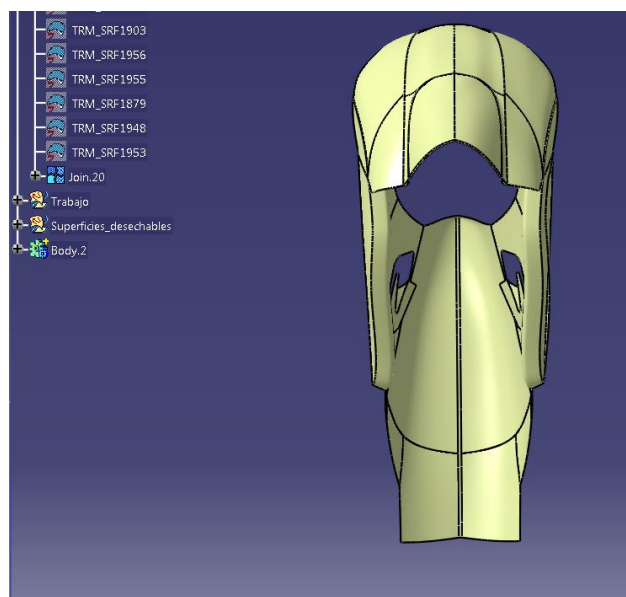


Ilustración 25: 3D del carenado en Catia™ sin errores

Una vez solucionados todos los errores geométricos se ha decidido usar el programa de diseño SolidWorks™, ya que tiene una función de simulación del comportamiento del flujo, el *Flow Simulation*, que ha permitido realizar las simulaciones aerodinámicas.

Para que un programa de CFD (Computational Flow Simulation) funcione correctamente el fluido que se escoge, en este caso aire, debe fluir por un cuerpo sólido, por lo tanto como el diseño esta realizado con el modo de superficies se ha debido generar a cada una de las superficies del diseño su respectivo espesor.

El inconveniente de pasar el modelo geométrico a SolidWorks™ es que se ha corrido el riesgo de que la geometría pudiese verse afectada nuevamente, pero la última actualización del programa permite abrir los archivos *CATpart* provenientes del Catia™, con lo cual la geometría se ha podido pasar sin ningún problema.

Al abrir el diseño se han convertido todas las superficies que influyen en el estudio aerodinámico a sólidos generándoles un espesor lo más adaptado a la realidad posible, dejando así listo el modelo para estudio.

El resultado final de la moto ha sido el siguiente:

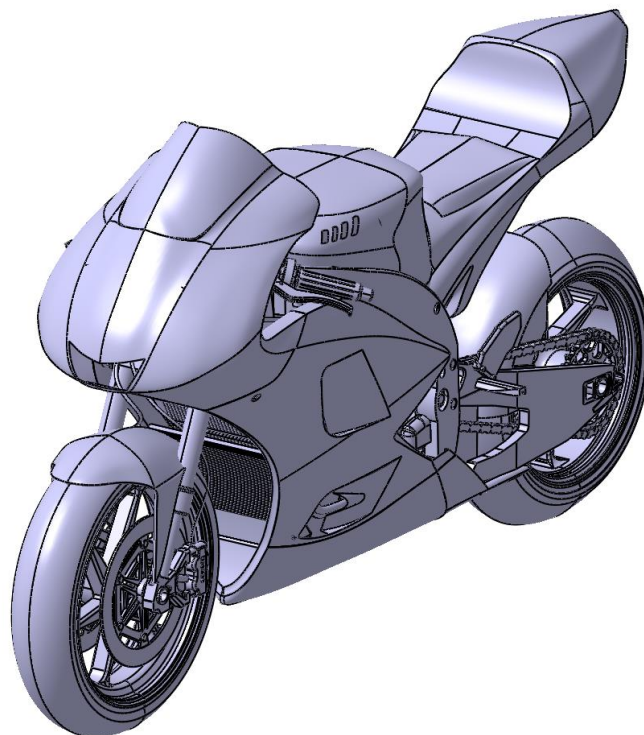


Ilustración 26: Yamaha™ YZR M1 en SolidWorks™ con los errores solventados

6. ELECCIÓN DE LOS ALERONES

Previo a cualquier elección, se ha realizado un proceso de selección en el cual se han estudiado varios modelos de perfil aerodinámico. Los requisitos que se han establecido han sido los siguientes:

- Ofrecer un comportamiento aceptable con números de Reynolds bajos.
- Garantizar una carga aerodinámica elevada.
- No generar una resistencia al avance o *drag* elevada.
- Tener un rendimiento aerodinámico alto para un cierto ángulo de ataque escogido.

Para tener un punto de partida acerca de la elección del perfil alar, se ha tenido en cuenta el siguiente esquema:

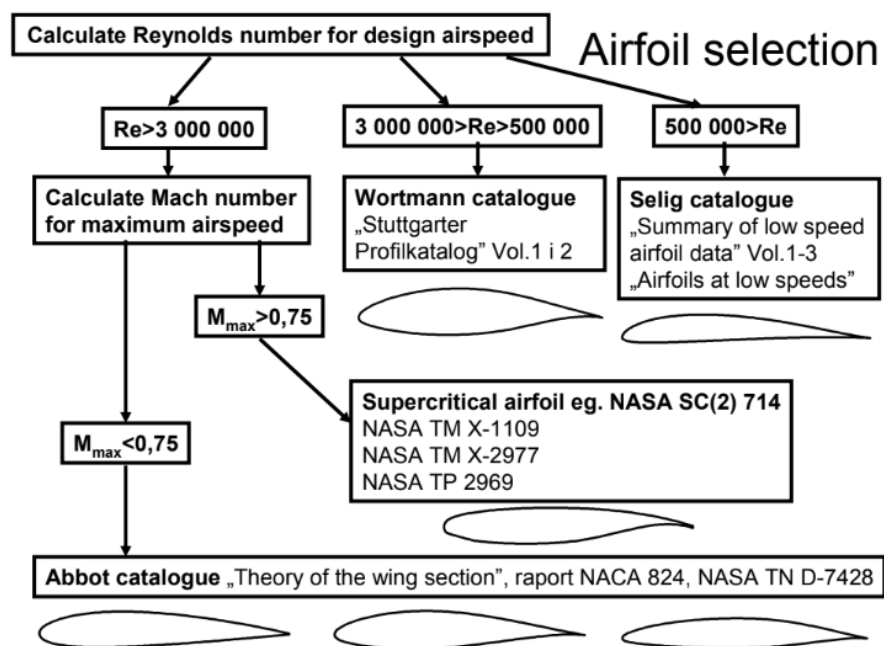


Ilustración 27: Esquema clasificativo de los perfiles de ala según el número de Reynolds

(https://itlims-zsis.meil.pw.edu.pl/pomoce/BIPOL/BIPOL_1_handout_8A.pdf)

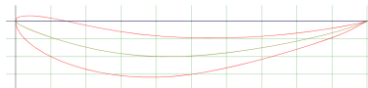
Como es lógico, nuestros alerones van a estar sometidos a números de Reynolds inferiores a 500.000 ya que la velocidad de la moto no supera los 340 km/h por lo que se ha accedido al *Selig Catalogue* realizado por la Universidad de Illinois, más

concretamente al documento *Summary of low speed airfoil data Vol. 1-3*, para poder seleccionar un punto de partida acerca de los alerones que puedan ser de utilidad.

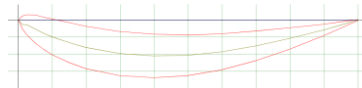
Después de analizar parte del documento, se ha encontrado un perfil, el E423, capaz de satisfacer las necesidades del proyecto el cual se ha marcado como punto de partida.

Para obtener más datos acerca del perfil, se ha accedido a la página web www.airfoiltools.com que ofrece una cantidad muy elevada de perfiles y datos acerca de ellos. El problema que se ha tenido en este portal es que es demasiado amplio como para poder estudiarlos todos, pero contiene una opción que se basa en poder visualizar perfiles que se asemejen con el que se está estudiando en ese momento. Siguiendo ese camino, se ha realizado una lista de candidatos que ofrecen unas prestaciones aerodinámicas correctas y estos perfiles son los siguientes:

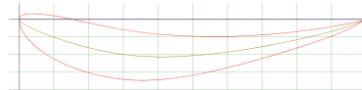
- E423 (e423-il)



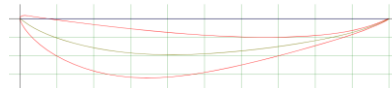
- GOE 448 AIRFOIL (goe448-il)



- EPPLER 420 AIRFOIL (e420-il)



- FX 74-CI5-140 MOD (fx74modsm-il)



Después de analizar los datos que ofrece la página web, se ha llegado a la conclusión de que el perfil que mejor se adapta a las prestaciones que se buscan es el FX 74-CI5-140 MOD (fx74modsm-il) ya que es el que mantiene unas mejores prestaciones tanto de carga aerodinámica, como de *drag* y rendimiento aerodinámico, además, es el perfil que se comporta de mejor manera a medida que se reduce el número de Reynolds ya que los demás, al llegar a valores más bajos, tenían un comportamiento muy irregular además de ofrecer menor rendimiento aerodinámico y *downforce*.

En el resto del apartado, se describe y justifica la implementación del alerón FX 74-CI5-140 en el carenado de la Yamaha™ YZR-M1.

Para llegar a decidir este perfil se ha hecho un análisis de datos previo que se basa en factores como el número de Reynolds a distintas velocidades de la moto, el C_L y C_D , su

comportamiento con distintos ángulos de ataque y su rendimiento aerodinámico (C_L/C_D), etc.

Como se ha comentado anteriormente, los datos sobre el perfil se han obtenido gracias al portal web www.airfoiltools.com, incluida la lista de puntos necesaria para poder desarrollar el diseño en el programa Solidworks™.

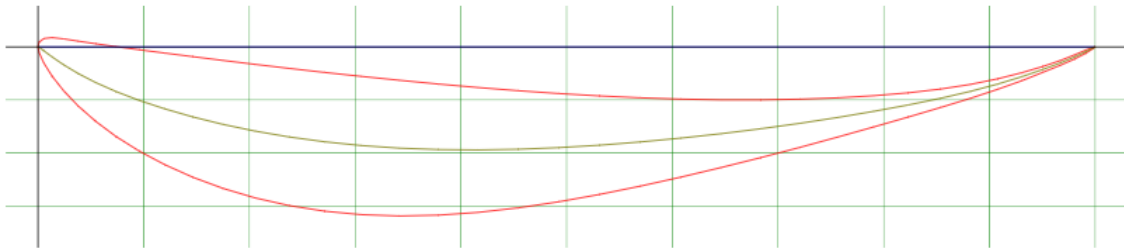


Ilustración 28: Perfil FX 74-C15-140

(<https://www.airfoiltools.com>)

Para realizar un estudio preciso acerca de los alerones que se han implementado en el proyecto se ha decidido separar éste en dos partes, una primera que será en 2D, con datos y cálculos realizados únicamente con la forma del perfil del alerón, y otra que será en 3D, con los diseños realizados mediante el software Solidworks™ y que se llevará a cabo para obtener resultados más precisos ya que se utilizarán más datos y medidas acerca de la pieza.

7. ESTUDIO EN DOS DIMENSIONES (2D)

A continuación se detallan los datos y resultados obtenidos acerca del estudio del perfil FX 74-CI5-140 en dos dimensiones que se consideran importantes para su diseño.

Primeramente se expresan las medidas importantes que se pueden encontrar en el perfil:

- Cuerda = 150 mm
- Envergadura = 120 mm
- El espesor máximo $t_{MÁX}$ es igual a 13,08 % de la cuerda en el 27,27% de ella.
- La caída máxima $AC_{MÁX}$ es igual a 9,72 % en el 41,41 %.

Seguidamente se ha procedido al cálculo del número de Reynolds para distintas velocidades, considerando un intervalo comprendido entre 100 y 360 km/h. Se ha decidido este intervalo ya que se considera que la moto se mueve a esas velocidades la mayoría del tiempo en circuito. El cálculo se ha realizado cada 20 km/h para poder obtener una curva precisa. Utilizando la *Ecuación 3* mencionada en el apartado de *Fundamentos teóricos*, los resultados obtenidos son los siguientes:

Nº DE REYNOLDS	DENSIDAD (kg/m ³)	VISCOSIDAD DINÁMICA	CUERDA (m)	ENVERGADURA (m)	VELOCIDAD (m/s)	VELOCIDAD (km/h)
200000	1,204	1,83E-05	0,15	0,12	20,27	72,96
300000	1,204	1,83E-05	0,15	0,12	30,40	109,44
400000	1,204	1,83E-05	0,15	0,12	40,53	145,91
500000	1,204	1,83E-05	0,15	0,12	50,66	182,39
600000	1,204	1,83E-05	0,15	0,12	60,80	218,87
700000	1,204	1,83E-05	0,15	0,12	70,93	255,35
800000	1,204	1,83E-05	0,15	0,12	81,06	291,83
900000	1,204	1,83E-05	0,15	0,12	91,20	328,31
1000000	1,204	1,83E-05	0,15	0,12	101,33	364,78

Tabla 2: Número de Reynolds para el intervalo de velocidades

Una vez que se dispone del número de Reynolds para el intervalo de velocidades seleccionado, se ha accedido al portal web de *Airfoiltools* para recopilar todos los datos

posibles acerca de este perfil. Este espacio no dispone de un rango de número de Reynolds tan ajustado como el que se ha calculado anteriormente, pero sí que se pueden seleccionar 3 valores que entran dentro del intervalo que recoge nuestros resultados. Para poder identificar cada una de las curvas se ha realizado la siguiente leyenda:

COLOR	VERDE	MORADO	AMARILLO
Nº DE REYNOLDS	200.000	500.000	1.000.000

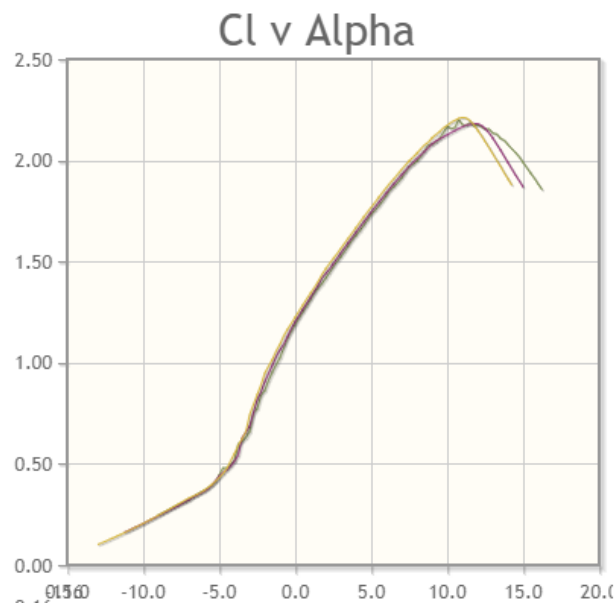


Tabla 3: C_L - Ángulo de ataque (α)

(<https://www.airfoiltools.com>)

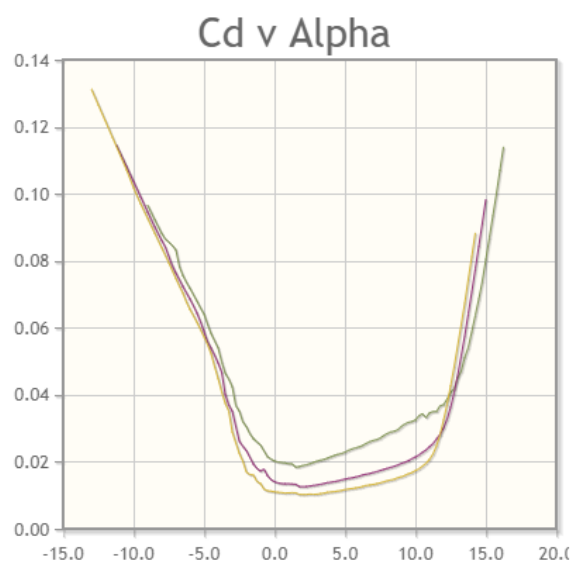
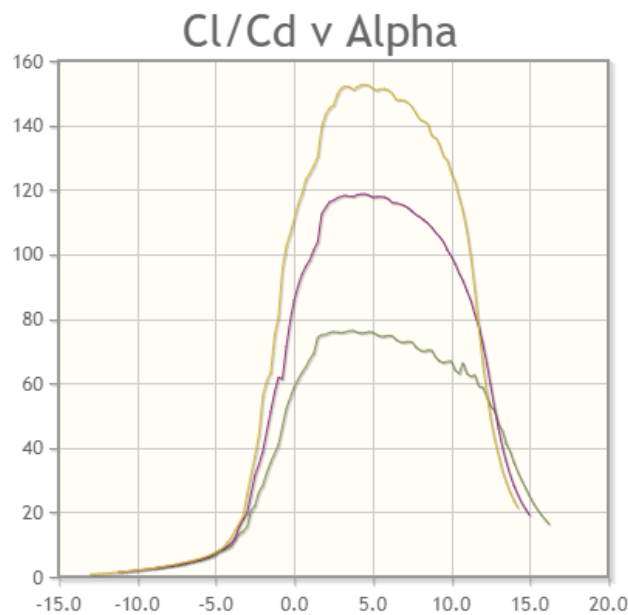
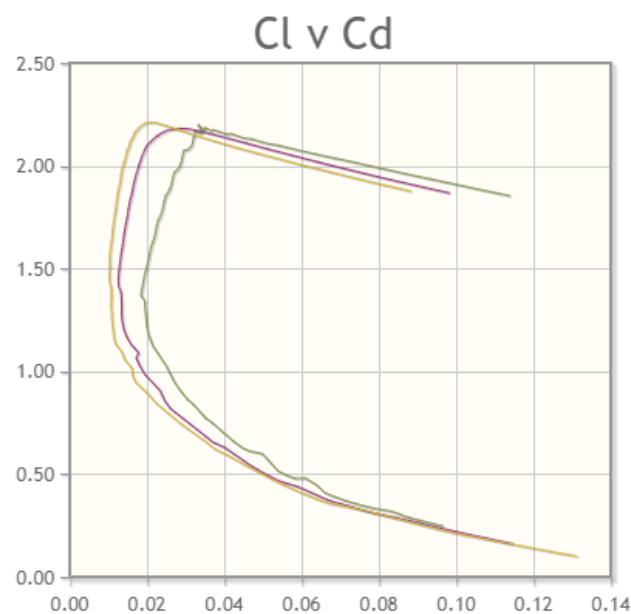


Tabla 4: C_D - Ángulo de ataque (α)

(<https://www.airfoiltools.com>)


 Tabla 5: C_L/C_D - Ángulo de ataque (α)

(<https://www.airfoiltools.com>)


 Tabla 6: $C_L - C_D$

(<https://www.airfoiltools.com>)

Como se puede ver en las tablas, los valores de los coeficientes son buenos para los objetivos que queremos cumplir, ya que se obtienen valores del coeficiente de sustentación elevados en ángulos de ataque no muy altos y el *drag* que produce este perfil no es excesivo. Otro aspecto positivo es que se puede ver que en la tabla de rendimiento aerodinámico las curvas mantienen una zona amplia donde sus valores

apenas varían de manera significativa respecto a un ángulo de ataque y eso permite ampliar la zona de estudio.

Para poder corroborar los datos de la página de Airfoolttools se ha decidido realizar también el estudio con el software libre XFLR5™ que permite el estudio de perfiles de ala y la obtención de las tablas anteriores mediante cálculo e iteraciones.

El proceso para poder obtener los resultados ha sido el siguiente:

- Se ha exportado la tabla de coordenadas del perfil del Departamento de ingeniería aeroespacial del *UIUC Applied Aerodynamics Group*.
- A continuación, se ha diseñado el perfil en el programa con las coordenadas obtenidas en el punto anterior.

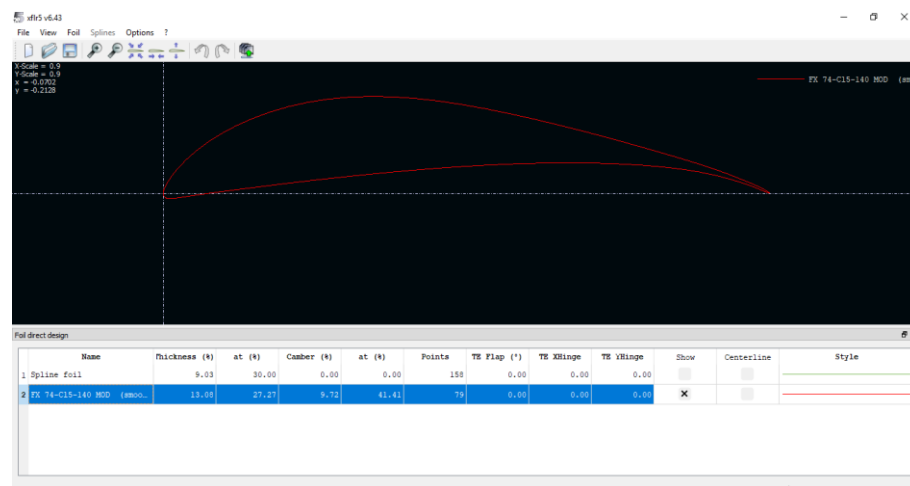


Ilustración 29: Perfil FX74_CL5-140 obtenido mediante el programa XFLR5™

- Una vez abierto el diseño, se ha hecho el análisis con la opción *Batch Analysis* de la barra de tareas. Para obtener unos datos correctos, se ha ajustado el intervalo de estudio tanto del número de Reynolds como del ángulo de ataque.

Batch foil analysis - xflr5 v6.43

Foil Selection

☒ Current foil only ☐ Foil list

Foil list

Analysis Type

☒ Type 1 ☐ Type 2 ☐ Type 3 ☐ Type 4

Batch Variables

☐ Range ☒ Re List

Edit List

Min

Max

Increment

Reynolds =

Mach =

NCrit =

Forced transitions

Top transition location (x/c)

Bottom transition location (x/c)

Analysis Range

Specify

☒ Alpha ☐ Cl

☒ From Zero

Min

Max

Increment

Alpha =

Iterations control

Max. iterations

Skip Opp

Skip Polar

Analyze

Close

☒ Initialize the boundary layer after unconverged points

☐ Initialize the boundary layer after each polar calculation

☐ Store OpPoints

x = 82.019

y = -0.129

1.0

0.8

0.6

0.4

0.2

0

-0.2

-0.4

-0.6

-0.8

-1.0

Iter

0

20

40

60

80

100

Ilustración 30: Parámetros de estudio del perfil

	Re	Mach	NCrit
1	200.000	0,00	9,00
2	300.000	0,00	9,00
3	400.000	0,00	9,00
4	500.000	0,00	9,00
5	600.000	0,00	9,00
6	700.000	0,00	9,00
7	800.000	0,00	9,00
8	900.000	0,00	9,00
9	1.000.000	0,00	9,00

Insert

Delete

OK

Cancel

Ilustración 31: Rango de valores del número de Reynolds

Los resultados han sido los siguientes:

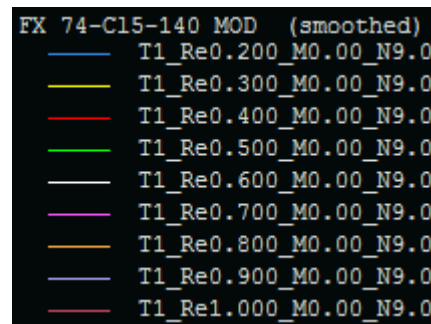


Ilustración 32: Leyenda de los distintos valores de Reynolds estudiados

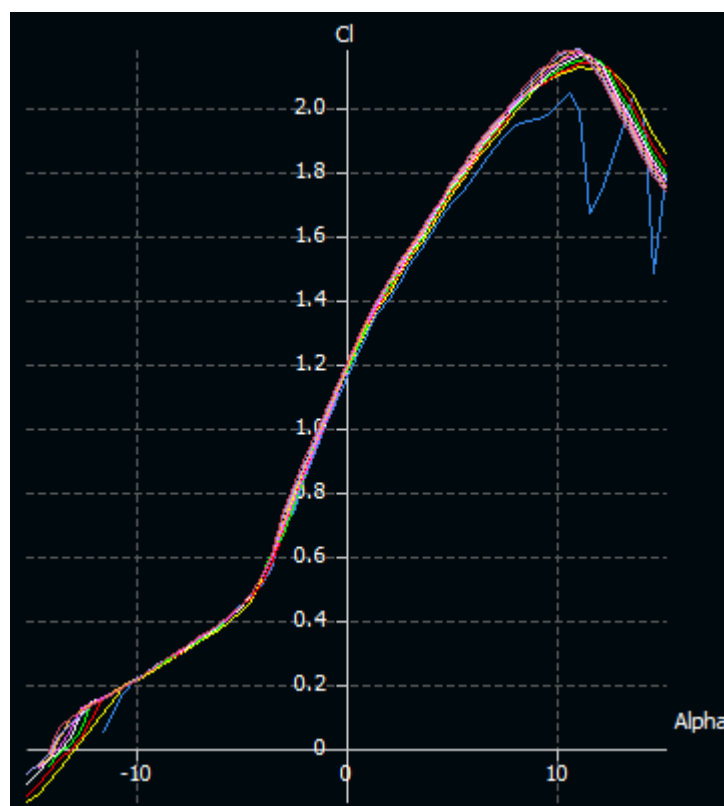
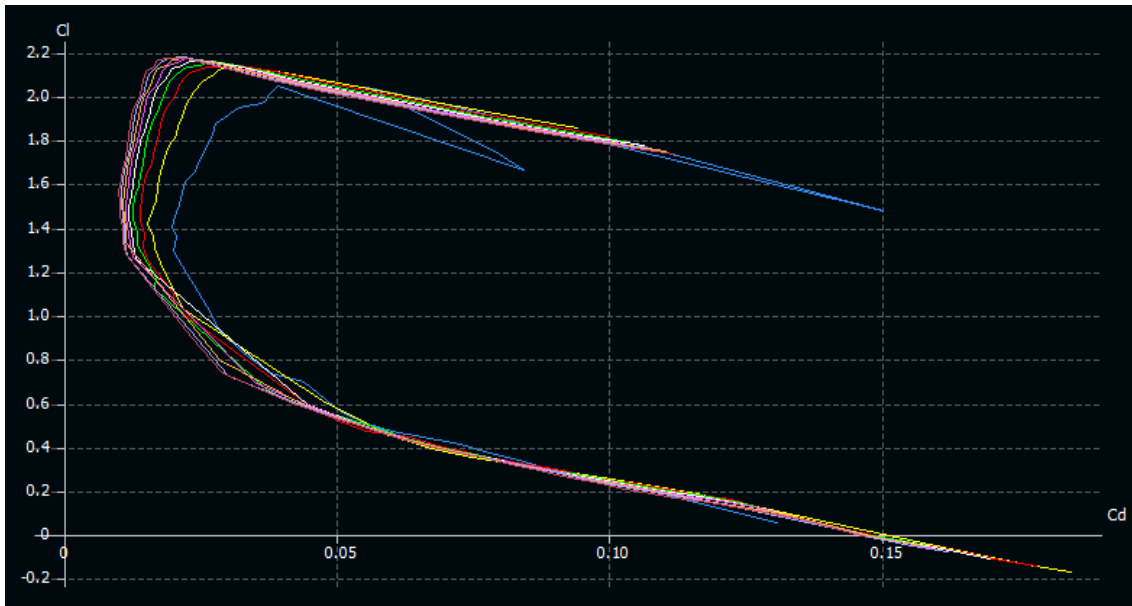
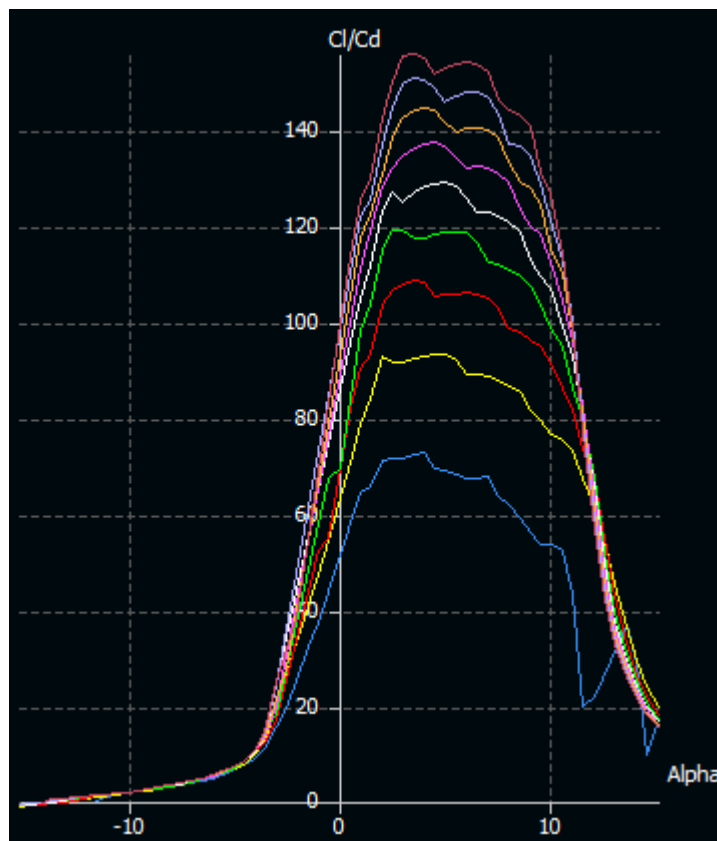


Tabla 7: C_L - Ángulo de ataque (α)


 Tabla 8: $C_L - C_D$

 Tabla 9: C_L/C_D - Ángulo de ataque (α)

Como se puede ver, los resultados tanto de la web de Airfoiltools como del software XFLR5™ mantienen tendencias y valores bastante parecidos por lo que podemos considerar ambos correctos para el estudio.

Después de estudiarlos se ha llegado a la conclusión de que un posible ángulo de ataque óptimo para el ala es de 7.5° , ya que de esa manera se tendrá un coeficiente C_L alto a la hora que se obtendrá también un rendimiento aerodinámico elevado. Además, a partir de ese ángulo se obtienen datos algo más irregulares con un número de Reynolds bajo, por lo que podría haber riesgo de entrada en pérdida del alerón a baja velocidad.

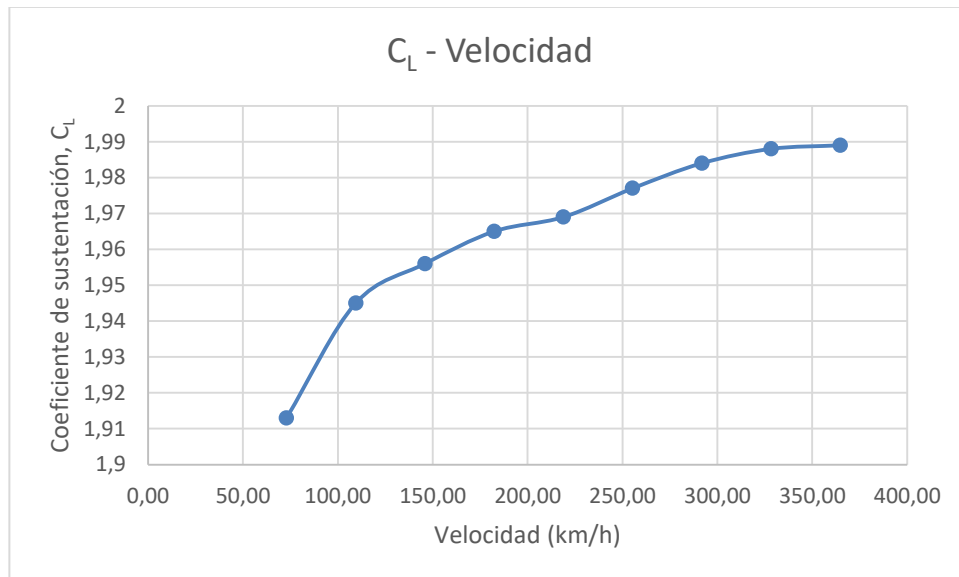
Este modelo de alerón tiene como aspecto positivo que el coeficiente C_L es prácticamente igual en los nueve valores escogidos de número de Reynolds para un ángulo de ataque, por lo que, a la hora de calcular el *downforce*, este coeficiente no hará variar mucho el resultado en el rango de velocidades estudiados. Otro dato a destacar, que se puede apreciar en la *Tabla 5* y *Tabla 9*, es que con el ángulo escogido el rendimiento aerodinámico se encuentra cerca del máximo y no en una zona de bajo rendimiento. Cabe recalcar también que en cuanto al coeficiente de resistencia C_D , se obtendrán valores algo altos en velocidades bajas ($Re=200.000$).

Una vez escogido el ángulo de ataque, se pueden obtener el resto de datos de las tablas anteriores.

Respecto al coeficiente C_L se puede asegurar que tienen un valor aproximadamente igual en los nueve valores de Reynolds que se han estudiado, con el ángulo de ataque escogido, ya que las nueve rectas de la *Tabla 3* y *Tabla 7* se separan a partir de un ángulo de ataque $\alpha=8^\circ$ o superior. Los nueve valores se han obtenido de con el programa XFLR5™ y son los siguientes:

Nº DE REYNOLDS	VELOCIDAD (km/h)	C_L
200000	72,95681063	1,913
300000	109,4352159	1,945
400000	145,9136213	1,956
500000	182,3920266	1,965
600000	218,8704319	1,969
700000	255,3488372	1,977
800000	291,8272425	1,984
900000	328,3056478	1,988
1000000	364,7840532	1,989

Tabla 10: C_L obtenidos en el intervalo de número de Reynolds

Tabla 11: C_L – Velocidad

Con los resultados del coeficiente C_L se calcula la fuerza ejercida por el alerón a distintas velocidades con la *Ecuación 2*:

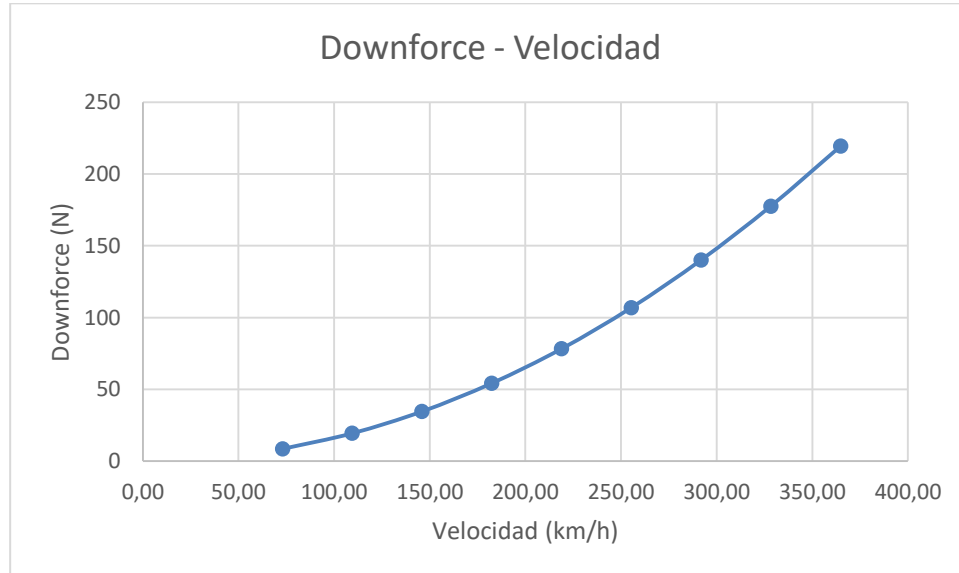


Tabla 12: Downforce (N) – Velocidad

Para el coeficiente de resistencia C_D se aprecia en la *Tabla 4* que el valor también varía según el Reynolds y que, para el ángulo de ataque escogido, el resultado es el siguiente:

Nº DE REYNOLDS	VELOCIDAD (km/h)	C_D
200000	72,95681063	0,03
300000	109,4352159	0,022
400000	145,9136213	0,019
500000	182,3920266	0,018
600000	218,8704319	0,016
700000	255,3488372	0,015
800000	291,8272425	0,0145
900000	328,3056478	0,014
1000000	364,7840532	0,014

Tabla 13: C_D obtenidos en el intervalo de número de Reynolds

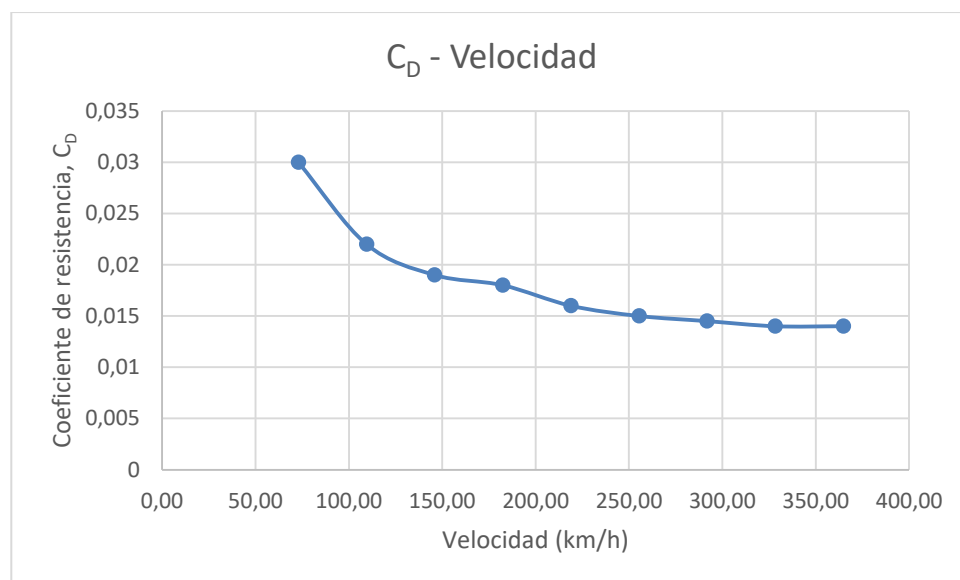


Tabla 14: C_D – Velocidad

Con los resultados del coeficiente C_D se calcula la fuerza de *drag* ejercida por el alerón a distintas velocidades con la *Ecuación 1*:

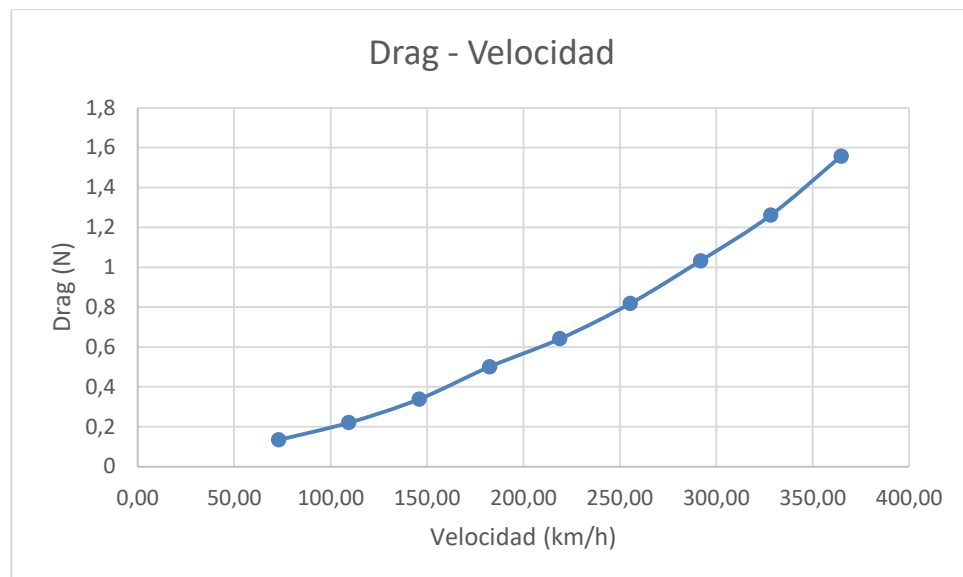
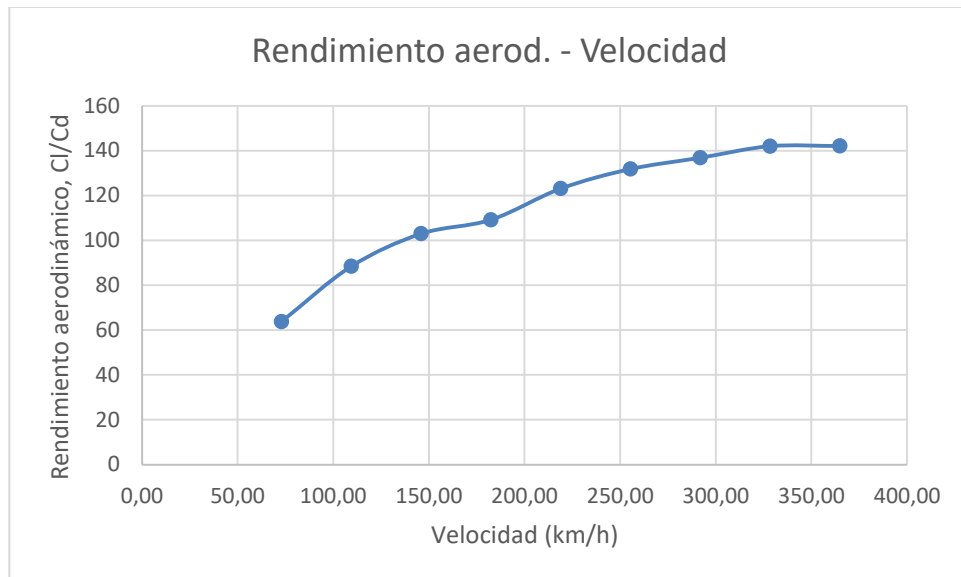


Tabla 15: Drag – Velocidad

Una vez obtenidos los datos de C_L y C_D , se recogen los resultados del rendimiento aerodinámico C_L/C_D :

Nº DE REYNOLDS	VELOCIDAD (km/h)	REND. AEROD. (C_L/C_D)
200000	72,95681063	63,76666667
300000	109,4352159	88,40909091
400000	145,9136213	102,9473684
500000	182,3920266	109,1666667
600000	218,8704319	123,0625
700000	255,3488372	131,8
800000	291,8272425	136,8275862
900000	328,3056478	142
1000000	364,7840532	142,0714286

 Tabla 16: C_L/C_D obtenidos en el intervalo de número de Reynolds

Tabla 17: C_l/C_d – Velocidad

Posteriormente, se ha realizado una simulación, también con el programa XFLR5™ para comprobar la distribución de presiones y el coeficiente de presiones (C_p) que se produce en el total del perfil y cómo se comporta la capa límite durante los nueve valores del número de Reynolds.

A continuación se muestran los resultados de manera gráfica con los distintos gráficos e imágenes obtenidas.

- RESULTADOS PARA $Re = 200.000$

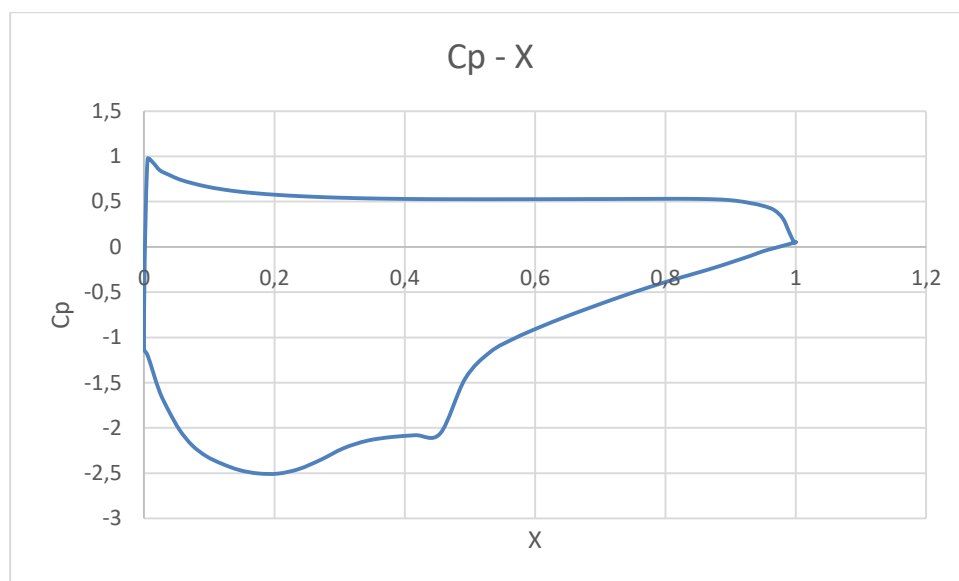


Tabla 18: Coeficiente de presiones en el perfil a $Re = 200.000$

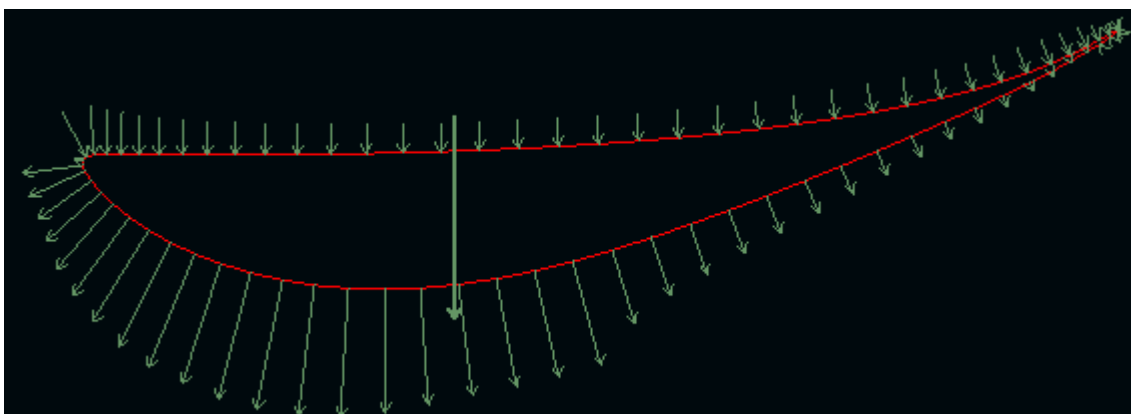


Ilustración 33: Distribución de presiones a $Re = 200.000$

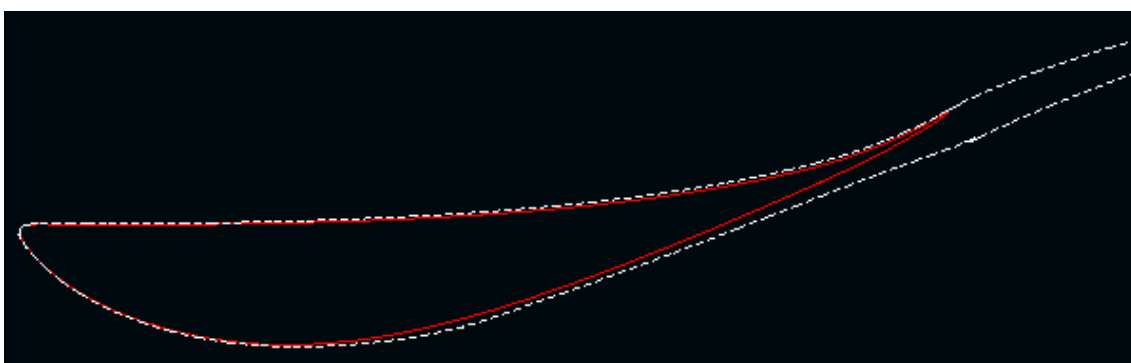


Ilustración 34: Capa límite a $Re = 200.000$

- RESULTADOS PARA $Re = 300.000$

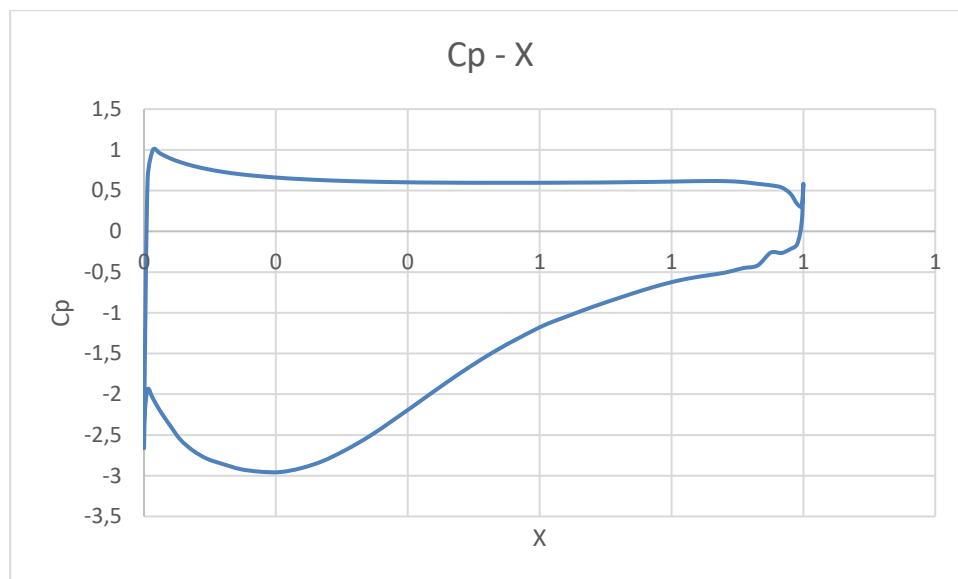


Tabla 19: Coeficiente de presiones en el perfil a $Re = 300.000$

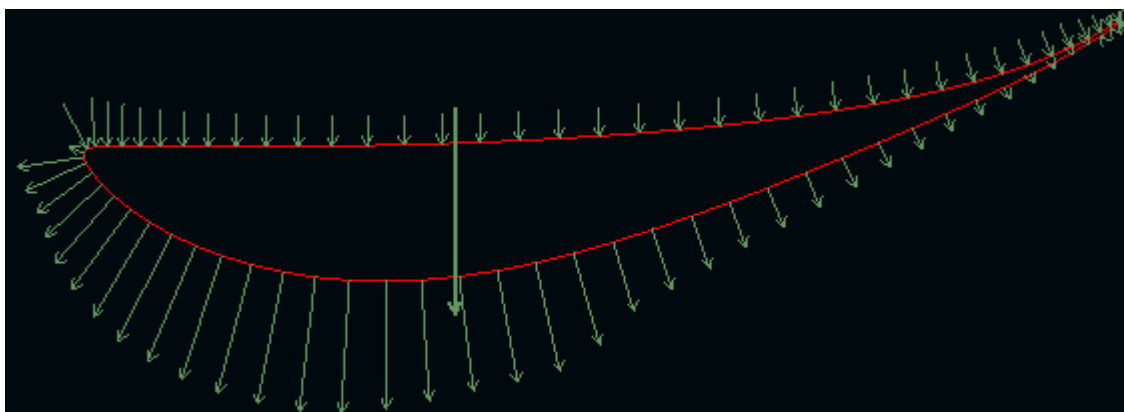


Ilustración 35: Distribución de presiones a $Re = 300.000$

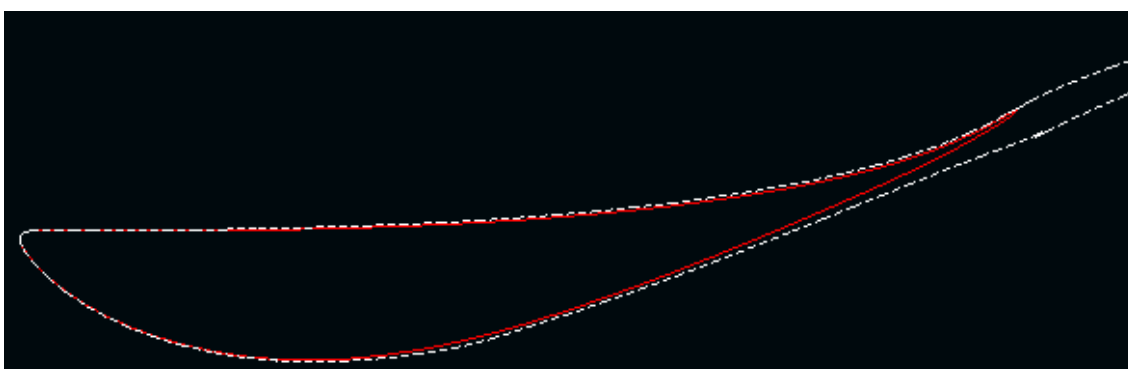


Ilustración 36: Capa límite a $Re = 300.000$

- RESULTADOS PARA $Re = 400.000$

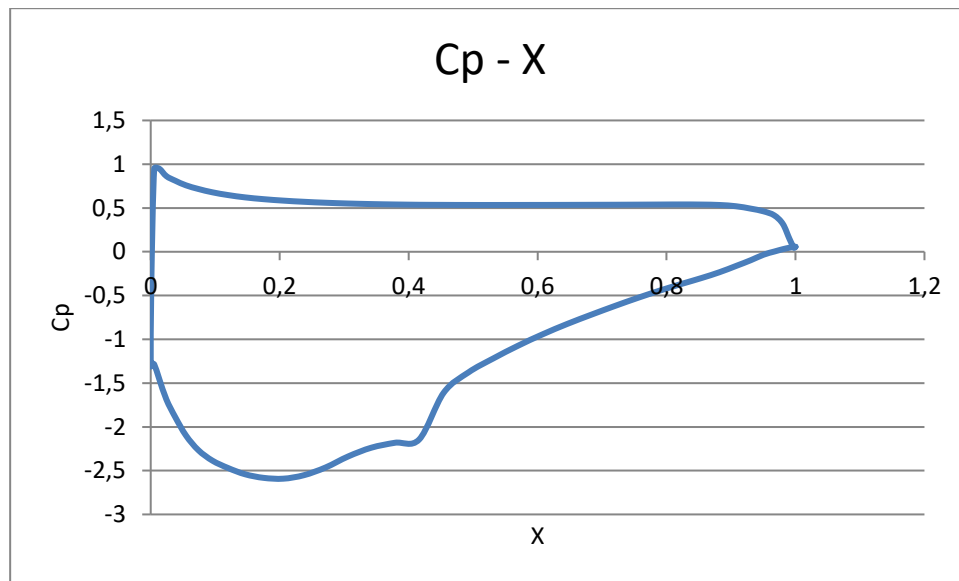


Tabla 20: Coeficiente de presiones en el perfil a $Re = 400.000$

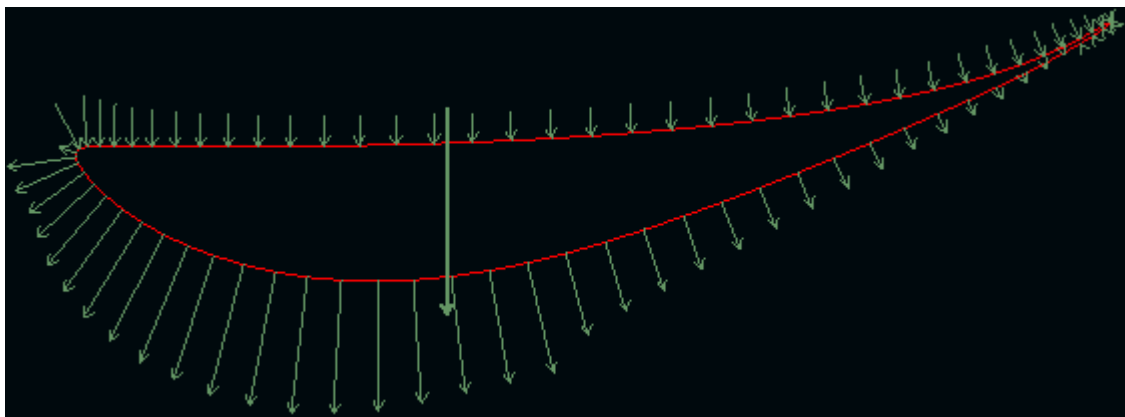


Ilustración 37: Distribución de presiones a $Re = 400.000$

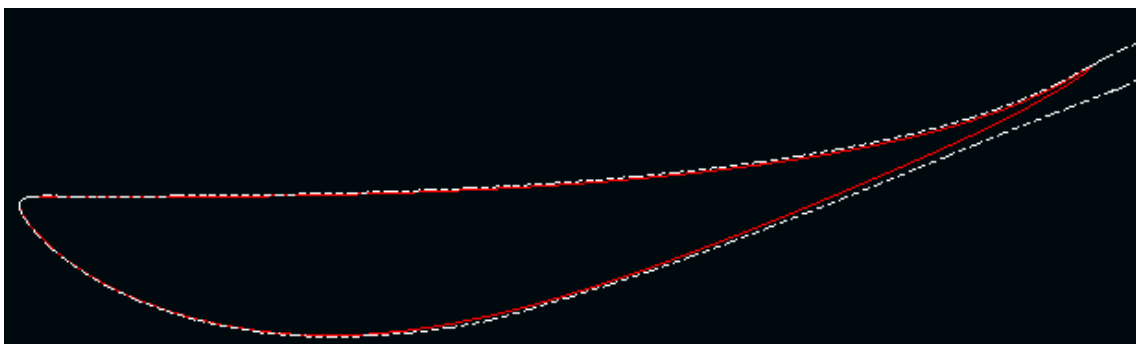


Ilustración 38: Capa límite a $Re = 400.000$

- RESULTADOS PARA $Re = 500.000$

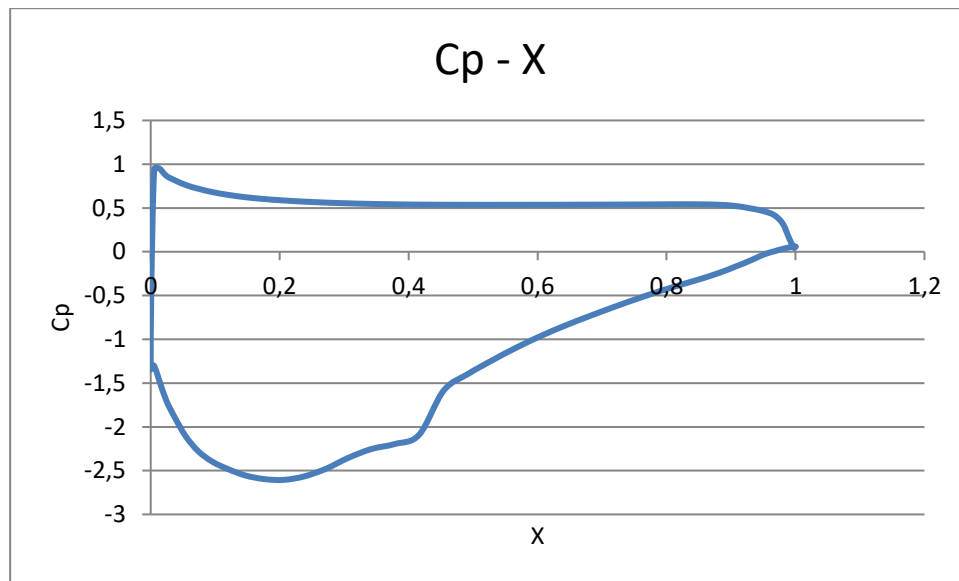


Tabla 21: Coeficiente de presiones en el perfil a $Re = 500.000$

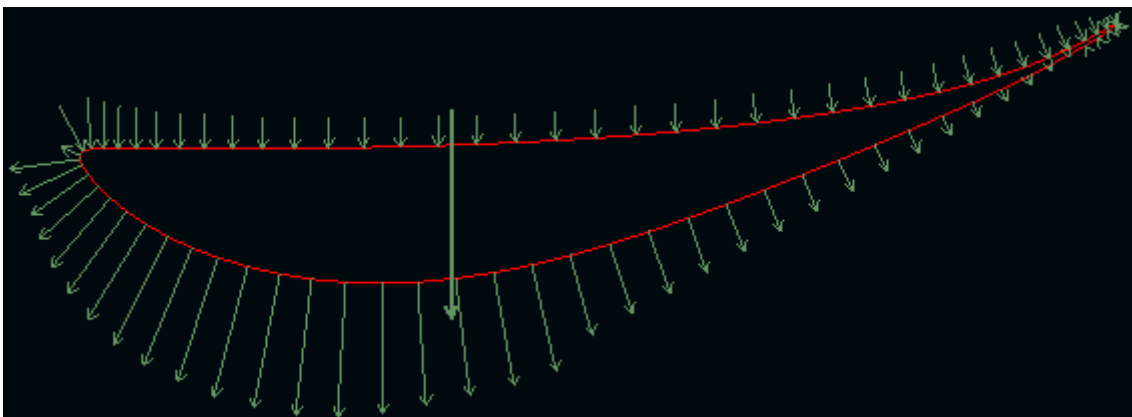


Ilustración 39: Distribución de presiones a $Re = 500.000$

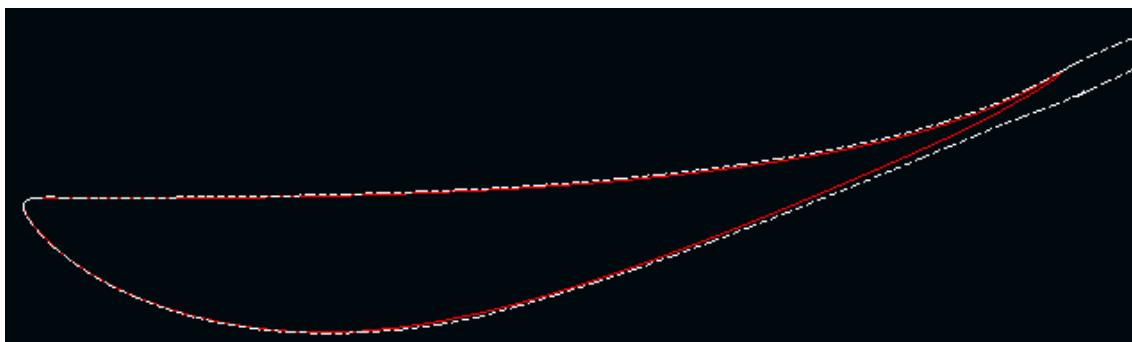


Ilustración 40: Capa límite a $Re = 500.000$

- RESULTADOS PARA $Re = 600.000$

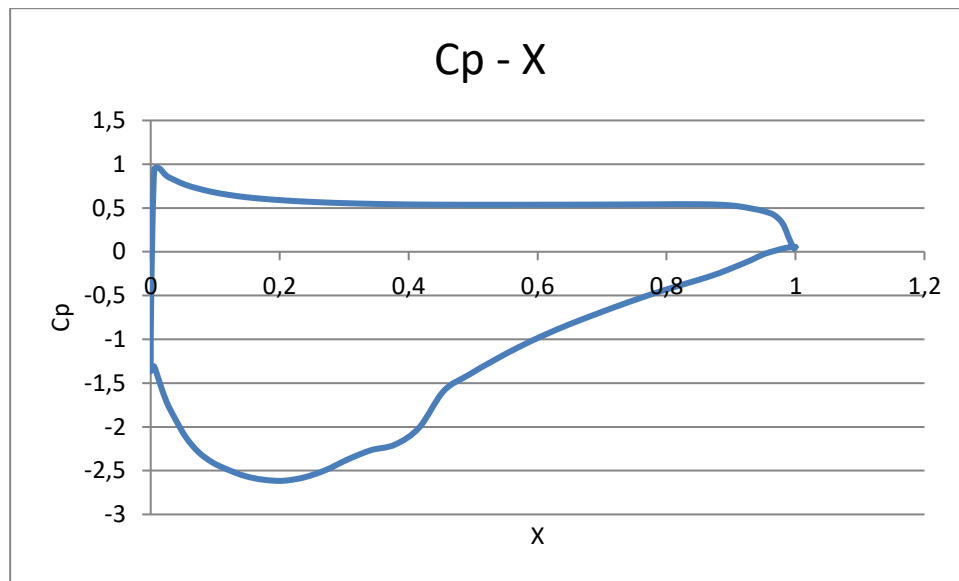


Tabla 22: Coeficiente de presiones en el perfil a $Re = 600.000$

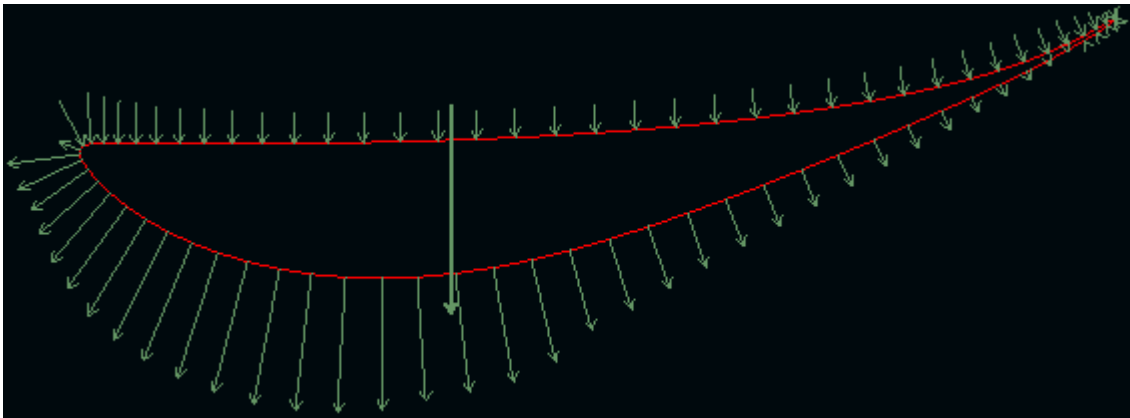


Ilustración 41: Distribución de presiones a $Re = 600.000$

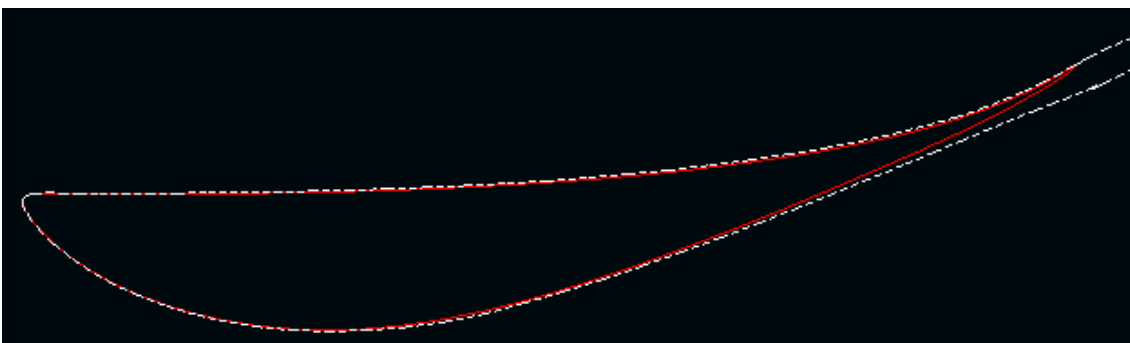


Ilustración 42: Capa límite a $Re = 600.000$

- RESULTADOS PARA $Re = 700.000$

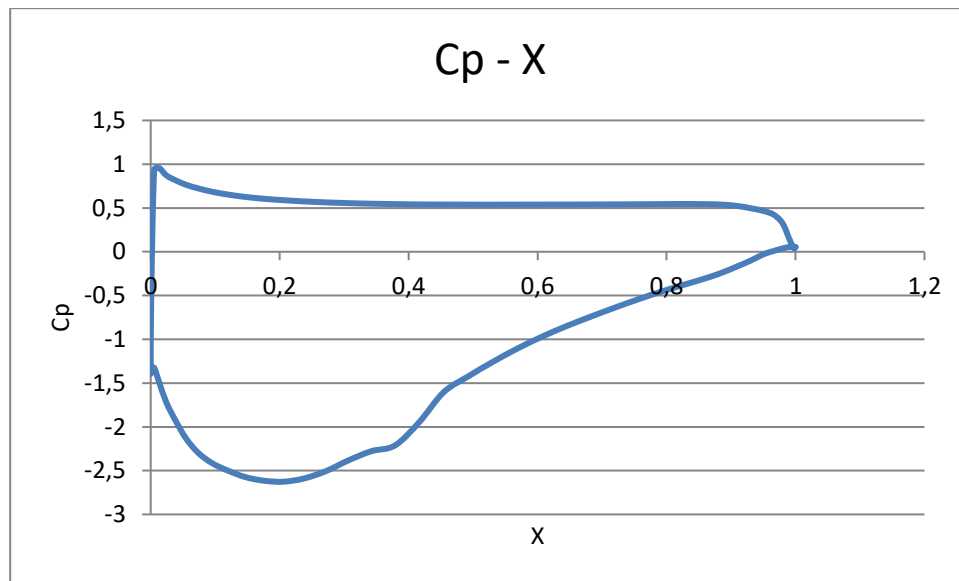


Tabla 23: Coeficiente de presiones en el perfil a $Re = 700.000$

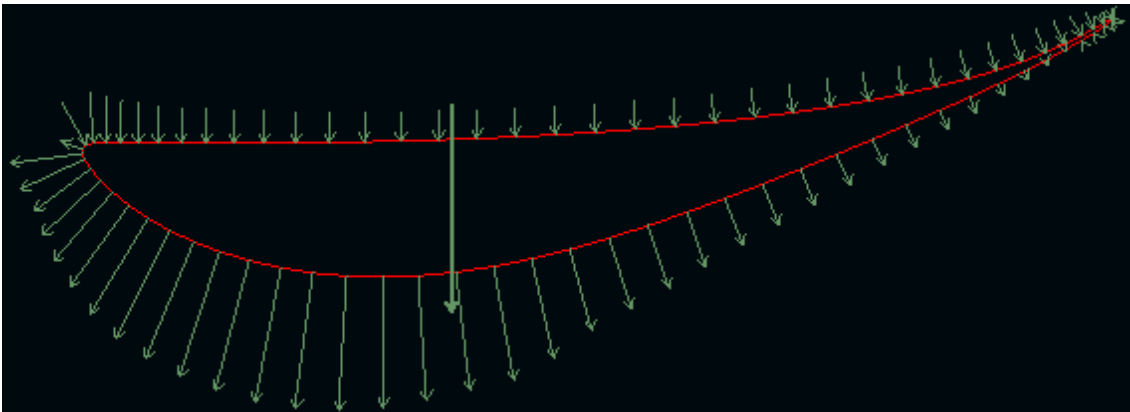


Ilustración 43: Distribución de presiones a $Re = 700.000$

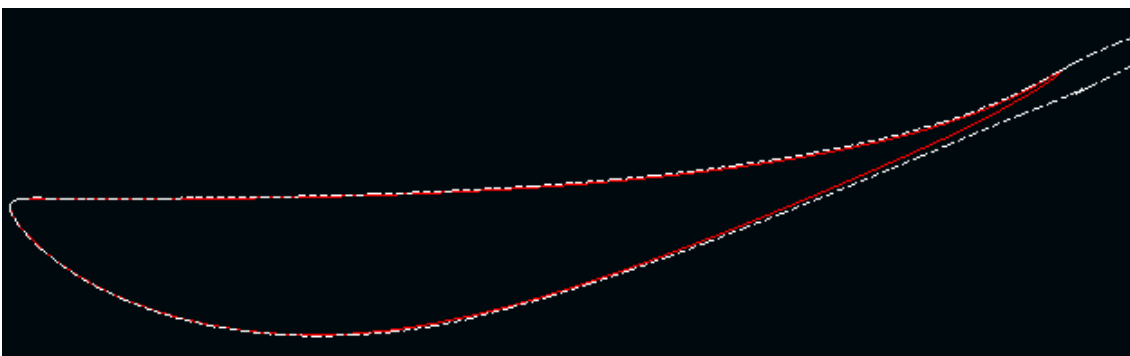


Ilustración 44: Capa límite a $Re = 700.000$

- RESULTADOS PARA $Re = 800.000$

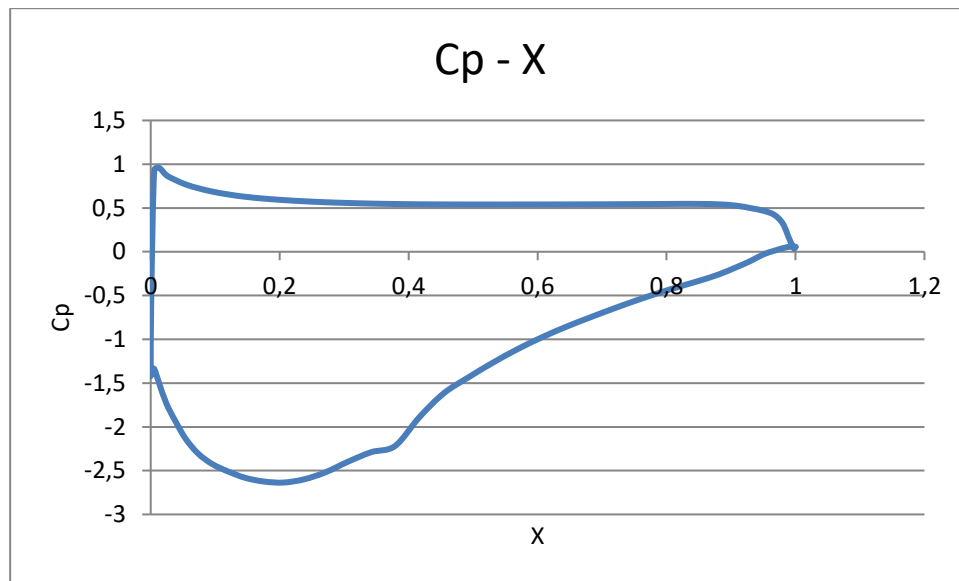


Tabla 24: Coeficiente de presiones en el perfil a $Re = 800.000$

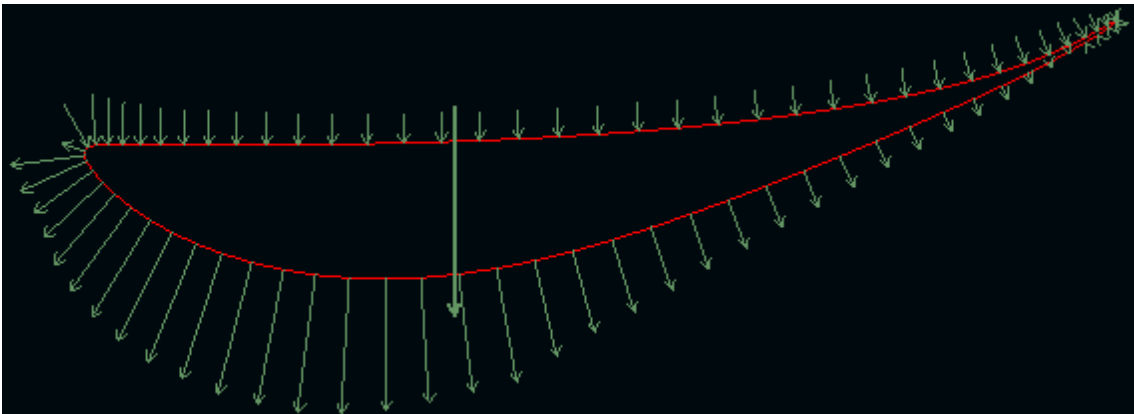


Ilustración 45: Distribución de presiones a $Re = 800.000$

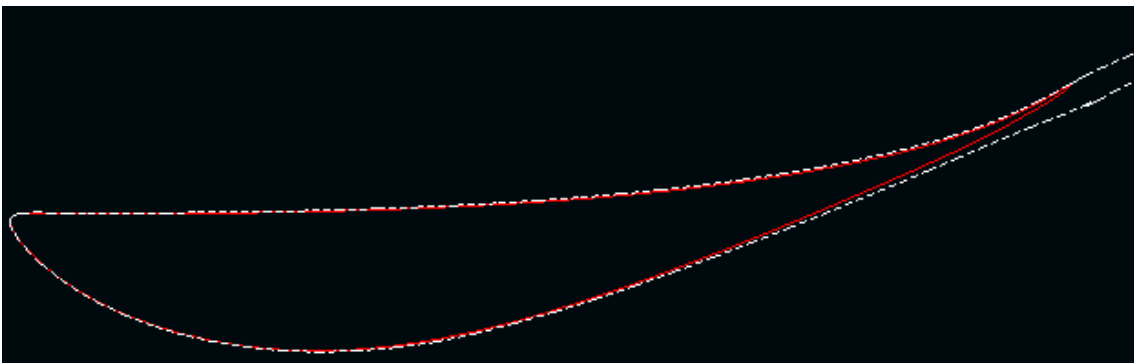


Ilustración 46: Capa límite a $Re = 800.000$

- RESULTADOS PARA $Re = 900.000$

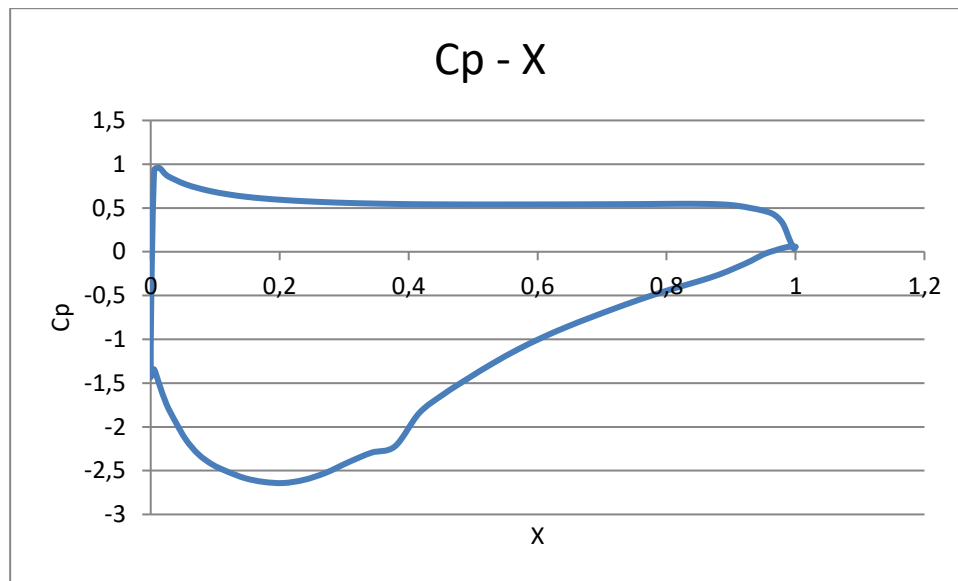


Tabla 25: Coeficiente de presiones en el perfil a $Re = 900.000$

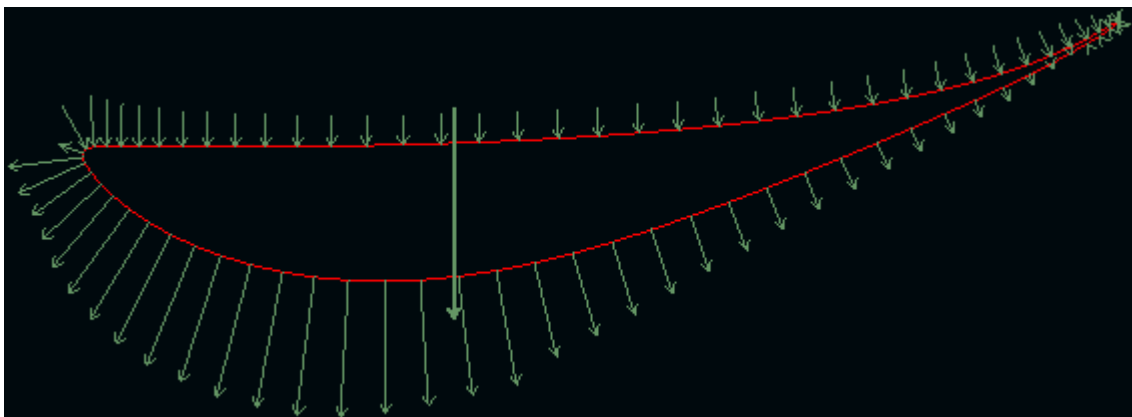


Ilustración 47: Distribución de presiones a $Re = 900.000$

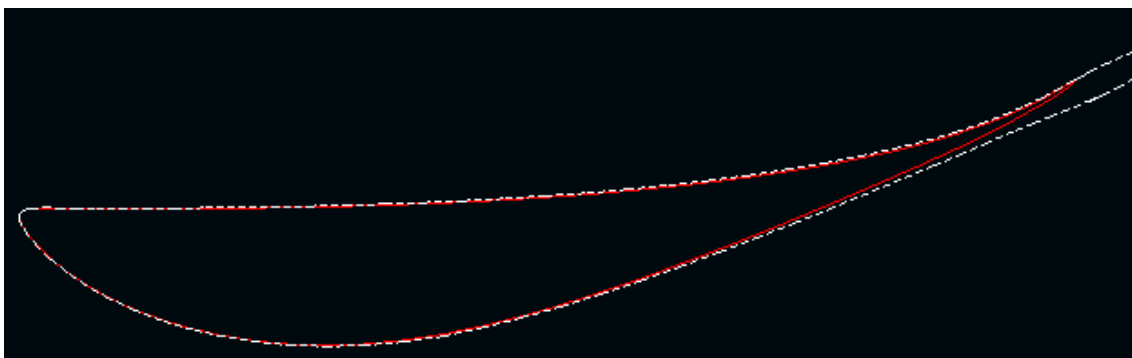


Ilustración 48: Capa límite a $Re = 900.000$

- RESULTADOS PARA $Re = 1.000.000$

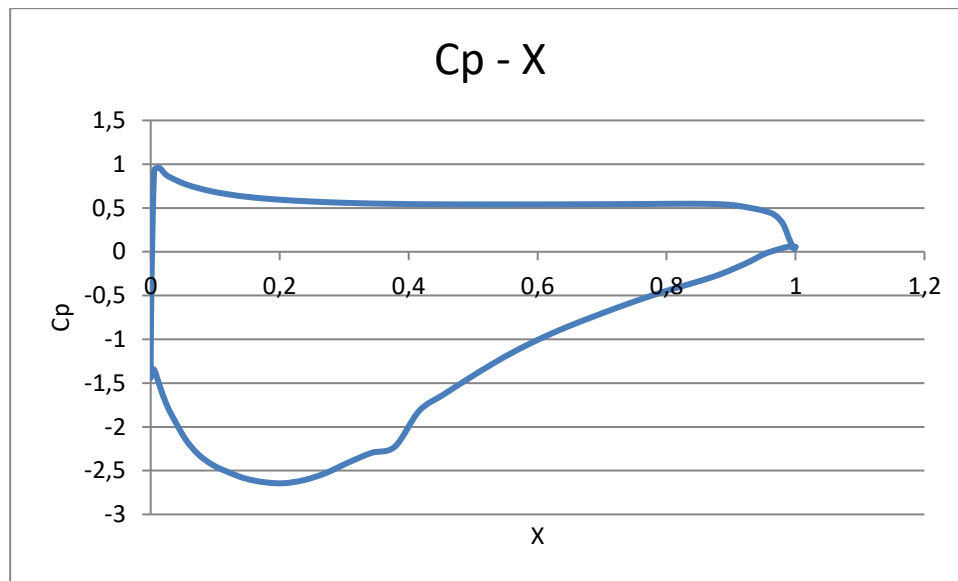


Tabla 26: Coeficiente de presiones en el perfil a $Re = 1.000.000$

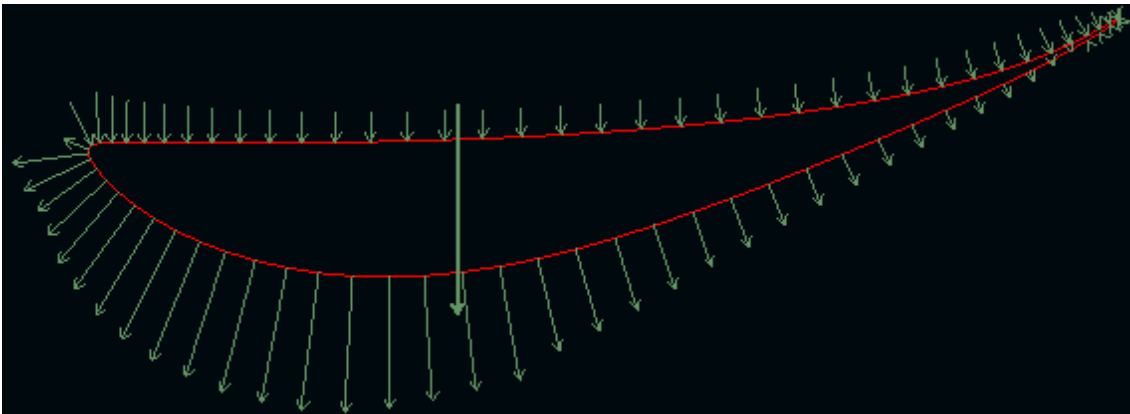


Ilustración 49: Distribución de presiones a $Re = 1.000.000$

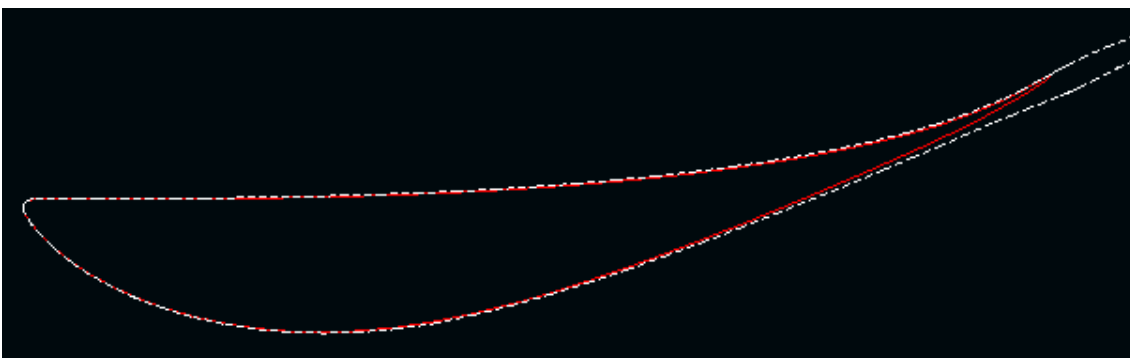


Ilustración 50: Capa límite a $Re = 1.000.000$

Para un correcto entendimiento de los resultados, se ha realizado un resumen:

- **Coeficiente de presiones (C_p):** durante los nueve valores del nº de Reynolds se encuentra una curva bastante parecida, produciéndose un coeficiente positivo en la zona inferior del alerón y negativo en la superior. En la zona inferior, el valor del C_p , mantiene un comportamiento mayormente lineal de valor 0.5, produciendo un pico en el borde de entrada de valor 1 y reduciéndose a valor nulo en el borde de salida, mientras que en la zona superior el valor sigue una curva que llega a un valor máximo de -2,6 a -2,75, dependiendo del número de Reynolds, aproximadamente. La máxima variación se produce a una altura aproximada del 20% de la cuerda así que, en nuestro caso, sería los 3 cm del borde de entrada del alerón. A medida que el aire recorre el ala, la variación va disminuyendo hasta ser nula en el borde de salida. La obtención de este valor es importante ya que con él se puede obtener, si es necesario, el valor de la presión a cualquier altura de la cuerda mediante la siguiente ecuación.

$$C_p = \frac{p - p_\infty}{\frac{1}{2} \cdot \rho_\infty \cdot V_\infty^2}$$

Ecuación 4: Centro de presiones (C_p)

Donde:

p es la presión estática del fluido en el punto en el que el coeficiente de presión es evaluado.

p_∞ es la presión del flujo libre, es decir, que se encuentra fuera de cualquier perturbación creada por el cuerpo.

ρ_∞ es la densidad del fluido.

V_∞ es la velocidad del flujo, o la velocidad del cuerpo a través del fluido.

- **Capa límite:** después de haber analizado las imágenes, se puede asegurar que en ningún caso el alerón entra en pérdida con las medidas y parámetros escogidos ya que, desde el primer estudio con nº de Reynolds 100.000 hasta el último, con un nº de Reynolds de 1.000.000, la capa límite se mantiene en el borde del alerón.

Sí que es cierto que a velocidades algo más bajas, se aprecia un pequeño desprendimiento de ésta en el borde de salida aunque a niveles que no producirían un gran problema para el funcionamiento del alerón. Además, a medida que aumenta la velocidad la capa límite se adhiere también al borde de salida.

- **Distribución de presiones:** durante todos los estudios realizados, se produce un comportamiento similar en el alerón en cuanto a la distribución de presiones, y es que el alerón provoca una presión final dirigida hacia el piso durante toda su cuerda. Es bueno asegurar el correcto resultado de este concepto ya que es el objetivo principal de este elemento, y un mal resultado provocaría la necesidad de buscar otro perfil que trabajase de manera correcta.

Después de todo el estudio en dos dimensiones que se ha efectuado, se ha llegado a la conclusión de que este perfil cumple con las expectativas generadas en un primer momento, y se puede dar como bueno para seguir con su diseño y análisis en tres dimensiones. Cumple con unos requisitos establecidos de manera excelente y ofrece garantías de que su comportamiento será bueno también los posteriores estudios más extensos y realistas.

8. DISEÑO CAD DE LOS ALERONES

Después de obtener los resultados que se observan en el apartado anterior y decidir que el perfil seleccionado es bueno para poderlo implementar en la moto, se ha procedido a su diseño.

Para empezar, se ha obtenido la curva que dibuja el perfil y, para ello, se ha accedido a la base de datos de *Airfoiltools*, donde se ha encontrado una tabla de coordenadas que se muestra a continuación.

X1	Y1	X2	Y2
1	0	0.00000	-0.00021
0.99754	0.00189	0.00098	-0.00435
0.99070	0.00624	0.00548	-0.00787
0.98037	0.01150	0.01338	-0.00871
0.96698	0.01741	0.02433	-0.00754
0.95044	0.02402	0.03811	-0.00539
0.93064	0.03188	0.05468	-0.00292
0.90775	0.04001	0.07395	-0.00022
0.88202	0.04848	0.09576	0.00270
0.85370	0.05718	0.11999	0.00584
0.82309	0.06616	0.14648	0.00921
0.79048	0.07549	0.17504	0.01279
0.75616	0.08510	0.20549	0.01651
0.72043	0.09482	0.23760	0.02030
0.68359	0.10446	0.27120	0.02410
0.64594	0.11385	0.30609	0.02786
0.60778	0.12287	0.34204	0.03152
0.56937	0.13137	0.37887	0.03503
0.53099	0.13916	0.41638	0.03832
0.49265	0.14604	0.45435	0.04134
0.45435	0.15177	0.49265	0.04400
0.41638	0.15606	0.53099	0.04624
0.37887	0.15868	0.56937	0.04801
0.34204	0.15944	0.60778	0.04925
0.30609	0.15820	0.64594	0.04992
0.27120	0.15493	0.68359	0.04997
0.23760	0.14964	0.72043	0.04936
0.20549	0.14243	0.75616	0.04807
0.17504	0.13344	0.79048	0.04608
0.14648	0.12292	0.82309	0.04334
0.11999	0.11110	0.85370	0.03978

0.09576	0.09826	0.88202	0.03537
0.07395	0.08459	0.90775	0.03013
0.05468	0.07030	0.93064	0.02434
0.03811	0.05576	0.95044	0.01851
0.02433	0.04145	0.96698	0.01290
0.01338	0.02769	0.98037	0.00756
0.00548	0.01518	0.99070	0.00319
0.00098	0.00518	0.99754	0.00068
1			0

Tabla 27: Puntos del perfil FX 74-CI5-140 (sustentación)

Una vez obtenida la tabla, se ha procedido a introducirla en el programa SolidWorks™ donde, mediante la función de creación de curvas por puntos XYZ, se ha dibujado el perfil.

Estos puntos recrean el perfil con una cuerda de 1 mm por lo que, para poder tener el diseño en tamaño real, se han multiplicado los valores por el valor de la cuerda en cada caso. Para nuestro caso, se han multiplicado por 150.

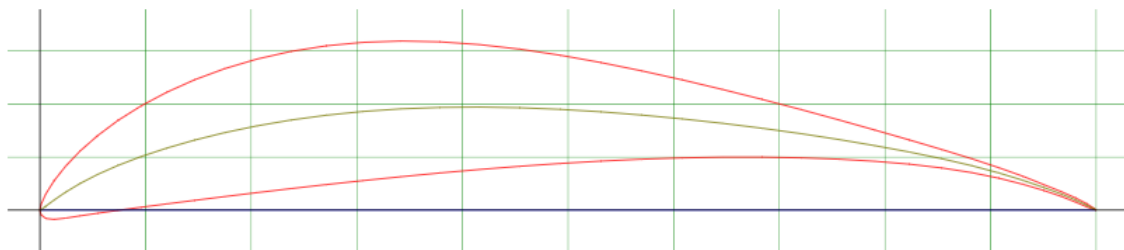


Ilustración 51: Perfil ala FX 74-CI5-140 (sustentación)

(<https://www.airfoiltools.com>)

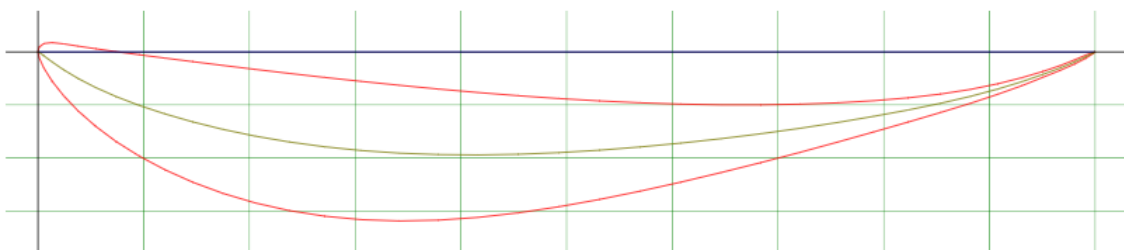


Ilustración 52: Perfil ala FX 74-CI5-140 (downforce)

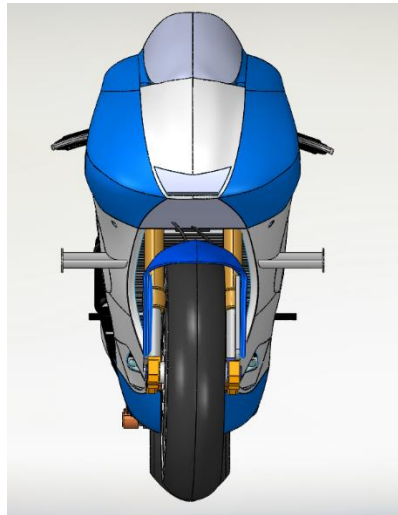
(<https://www.airfoiltools.com>)

Cuando se ha tenido el perfil dibujado, se han realizado tres diseños, un primero el cual mantiene las medidas especificadas en el estudio en dos dimensiones, de forma rectangular en planta, un segundo donde se ha adaptado el alerón para poder encajarlo de manera correcta en el carenado lateral de la moto y, por último, un tercero donde se ha creado el alerón en dos partes separadas, una primera donde el proceso de diseño se asemeja al segundo, provocando un correcto acople en el carenado, y una segunda que se define por tener unas medidas rectangulares en planta con las misma cuerda que se menciona en el anterior estudio y una envergadura reducida para que, una vez sumada a la de la primera parte, cumpla con las medidas especificadas.

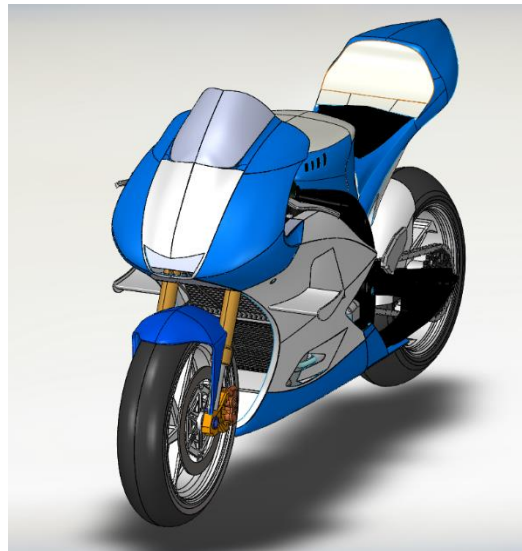
8.1. DISEÑO DE ALERÓN FIJO

El diseño de este alerón ha sido algo más complejo que el anterior debido a la necesidad de adaptación de uno de los bordes con el carenado de la moto. El proceso que se ha seguido ha sido mediante la edición de una pieza. Se ha seleccionado, en primer lugar, la parte lateral del carenado de la moto y después se ha creado la curva por puntos. Una vez obtenida dicha curva, se ha desplazado hasta colocarla en la posición idónea a la debía estar y, por último, se ha realizado una extrusión hasta superficie para conseguir ese acople perfecto a la misma superficie del carenado lateral. Este diseño convierte el primero, en uno algo más sofisticado y estilizado que se adapta perfectamente a las medidas y formas de la moto.

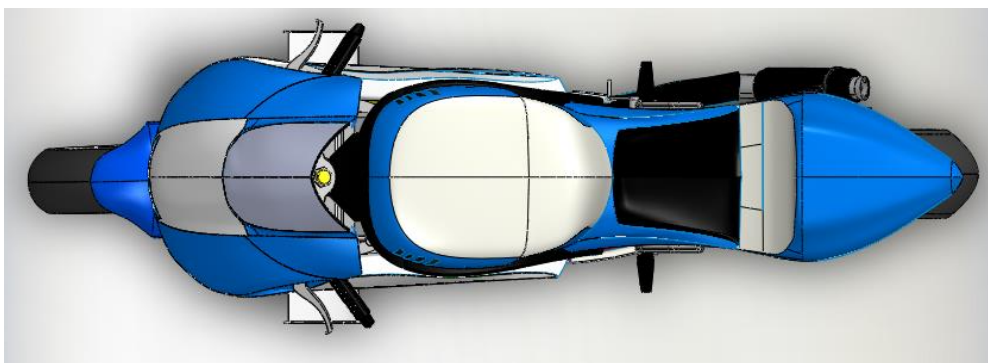
En cuanto a las medidas finales del alerón, se debe decir que se han visto modificadas debido a su adaptación con el carenado y, aunque la cuerda se ha mantenido constante, la envergadura se ha convertido en variable a su paso por el carenado.



Il·lustració 53: Vista frontal del disseny de alerons fixos



Il·lustració 54: Vista isomètrica del disseny de alerons fixos



Il·lustració 55: Vista superior del disseny de alerons fixos

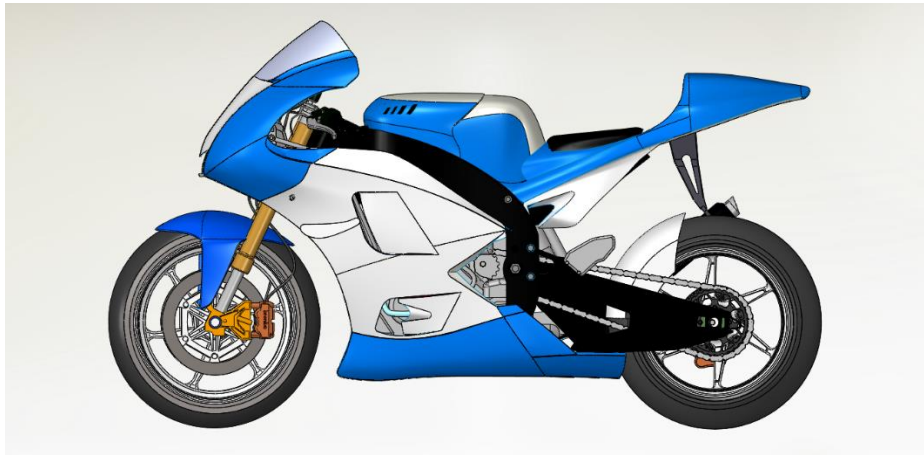


Ilustración 56: Vista lateral del diseño de alerones fijos

8.2. DISEÑO DE ALERÓN MÓVIL

En último lugar, para realizar el sistema completo que permita el giro del alerón, se ha realizado el tercer y definitivo diseño. Este diseño es el más complejo ya que está formado por dos partes, una primera parte que se mantiene fija unida al carenado, de menor tamaño y que se ha diseñado de la misma manera que el diseño del alerón fijo, y que parte como idea principal que forme parte del propio carenado lateral de la moto como un solo sólido. Esta primera pieza se ha realizado debido a la necesidad de tener el eje de rotación en una posición recta y no curvada como es el carenado a esa altura.

8.2.1. ALERÓN DE MENOR TAMAÑO

Este winglet no contiene pared exterior, será de fibra de carbono, tendrá un espesor de pared de 1 mm y como tapa exterior ira alojada una pieza de aluminio que tiene **dos variantes** de diseño, una primera la cual dispondrá de un agujero circular donde irá alojado un eje proveniente de un servomotor y una segunda que dispondrá de una ranura rectangular donde irá colocada la correa transmisora.

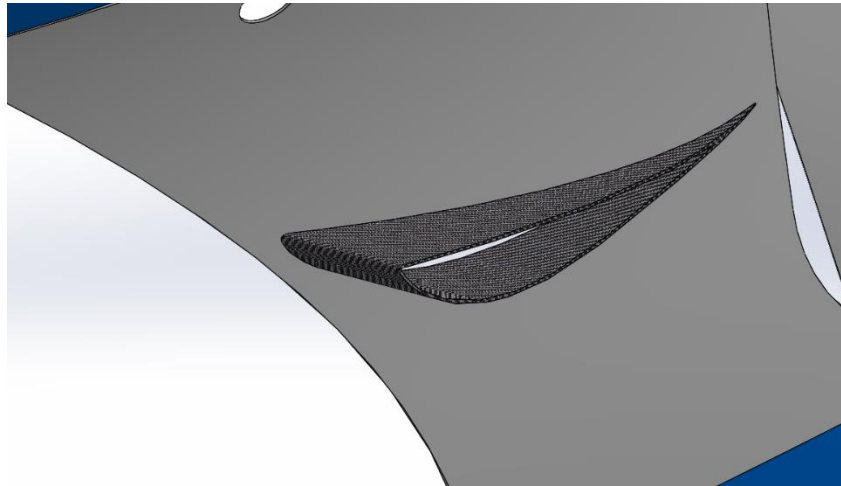


Ilustración 57: Alerón de menor tamaño

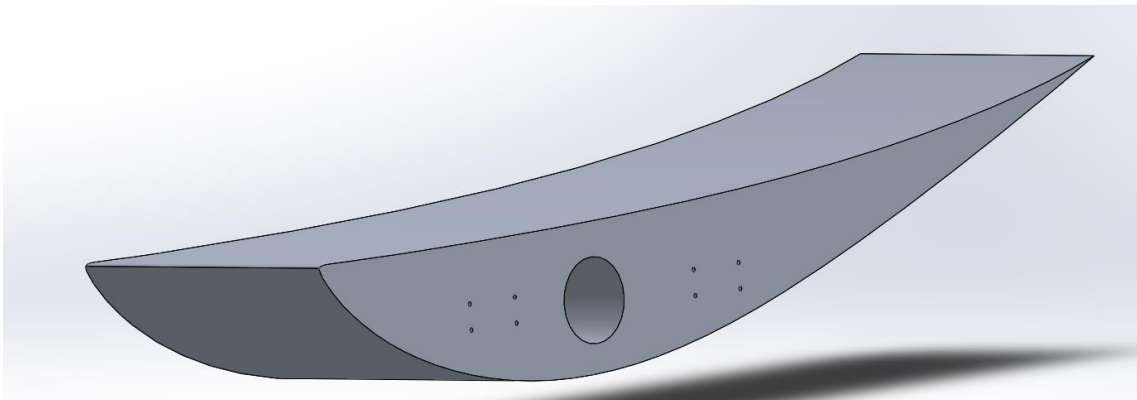


Ilustración 58: Tapa del alerón de menor tamaño del mecanismo de engranajes

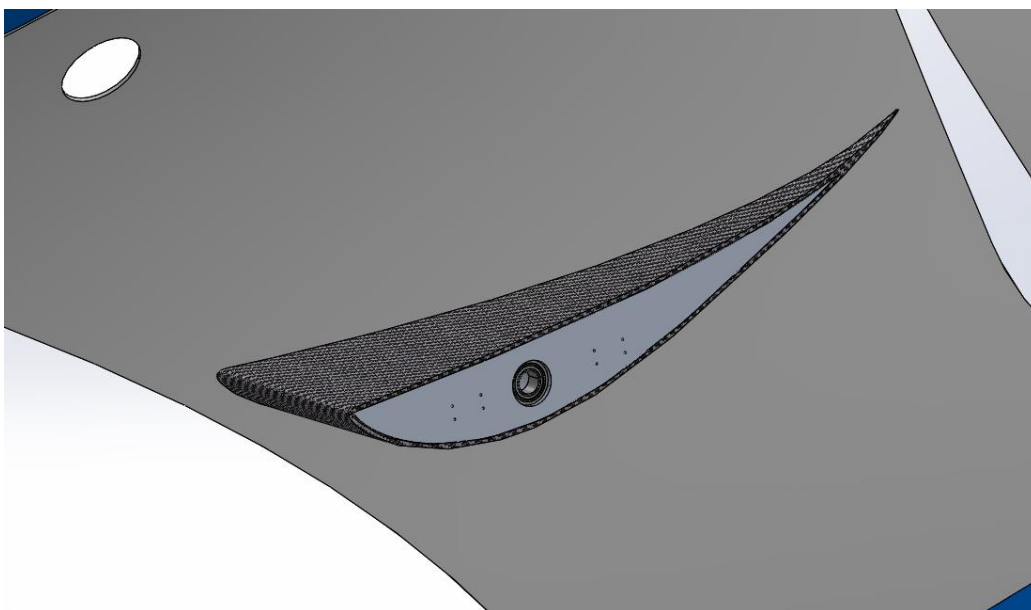
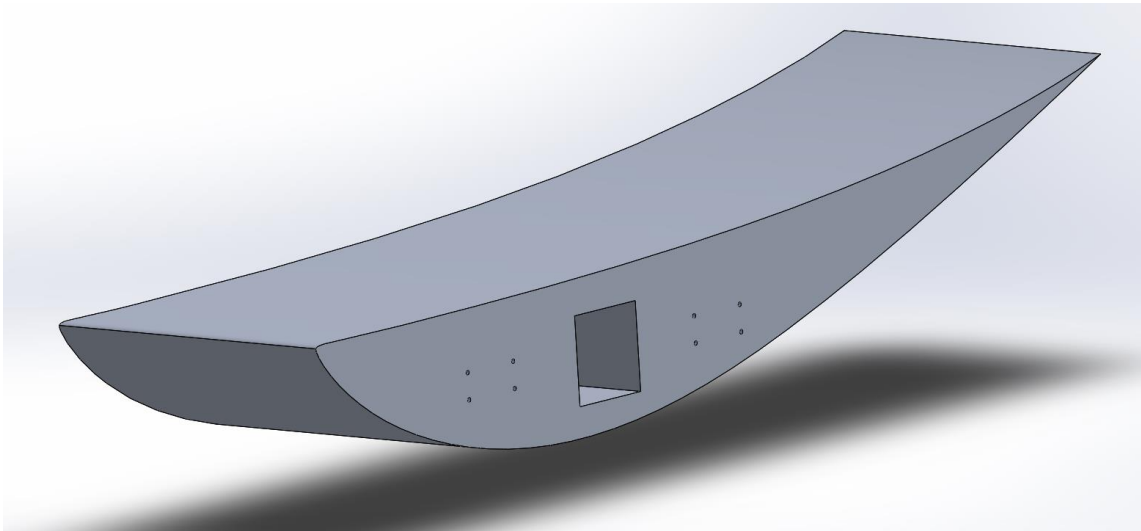
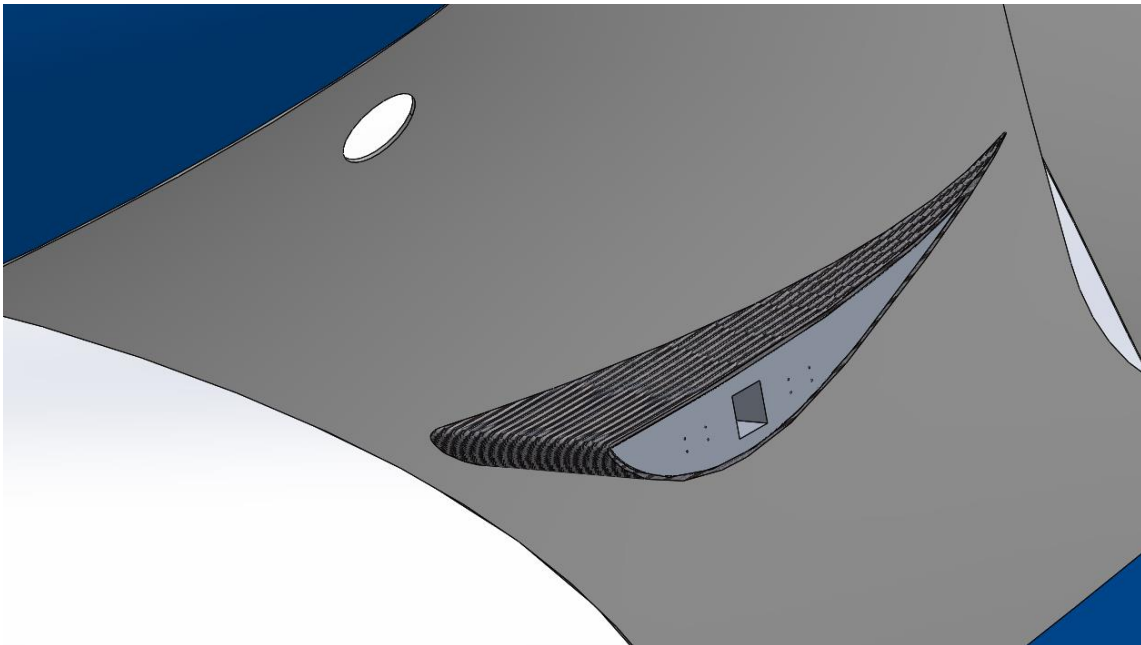


Ilustración 59: Conjunto tapa-alerón del mecanismo de engranajes



Il·lustració 60: Tapa del alerón de menor tamaño del mecanismo de correa



Il·lustració 61: Conjunto tapa-alerón del mecanismo de correa

Ambas piezas estarían unidas mediante resina de epoxi en una posible fabricación.

8.2.2. ALERÓN DE MAYOR TAMAÑO

Este alerón también tendrá un espesor de pared de 1 mm y dispondrá de una tapa de aluminio donde irá alojado el eje encargado de rotarlo en su borde interior. En su borde exterior, en cambio, se encontrará un *endplate* para favorecer el flujo por toda la cuerda del alerón

Las medidas totales serán de 10 cm de envergadura y 15 cm de cuerda haciendo un total, junto a la primera pieza, de 12 cm de envergadura máxima y los 15 cm de cuerda.



Ilustración 62: Alerón de mayor tamaño

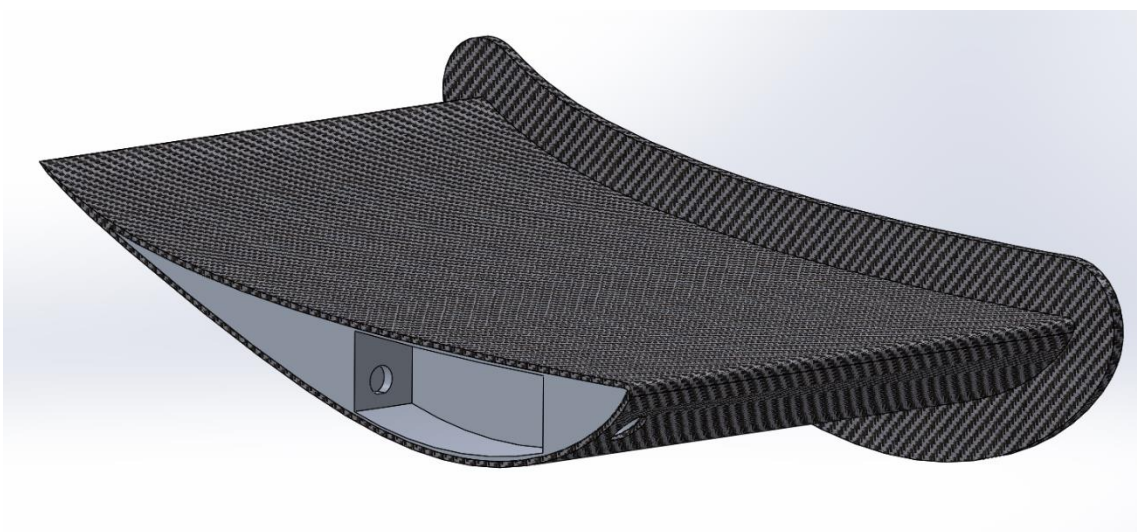


Ilustración 63: Conjunto tapa - alerón del alerón de mayor tamaño

La unión de ambos alerones se ha realizado mediante unos soportes en forma de anillo que se acoplan mediante tornillos a la tapa de aluminio del alerón de menor tamaño y un eje. El material de estas dos últimas piezas es acero inoxidable.

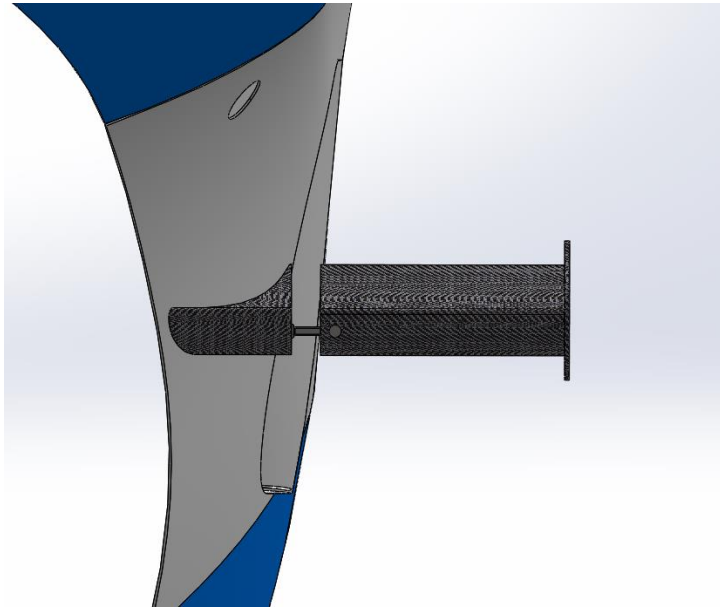


Ilustración 64: Vista frontal del sistema de alerones móviles

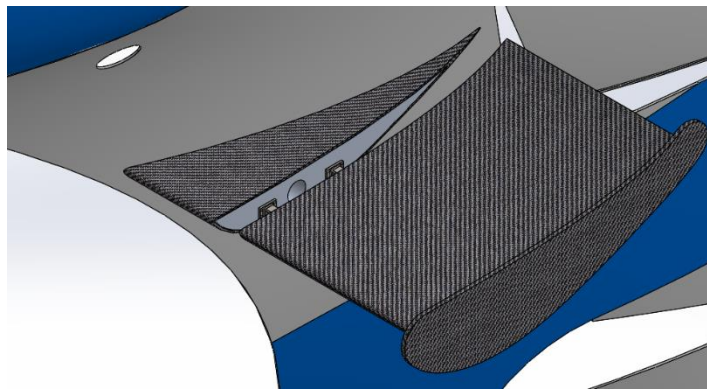
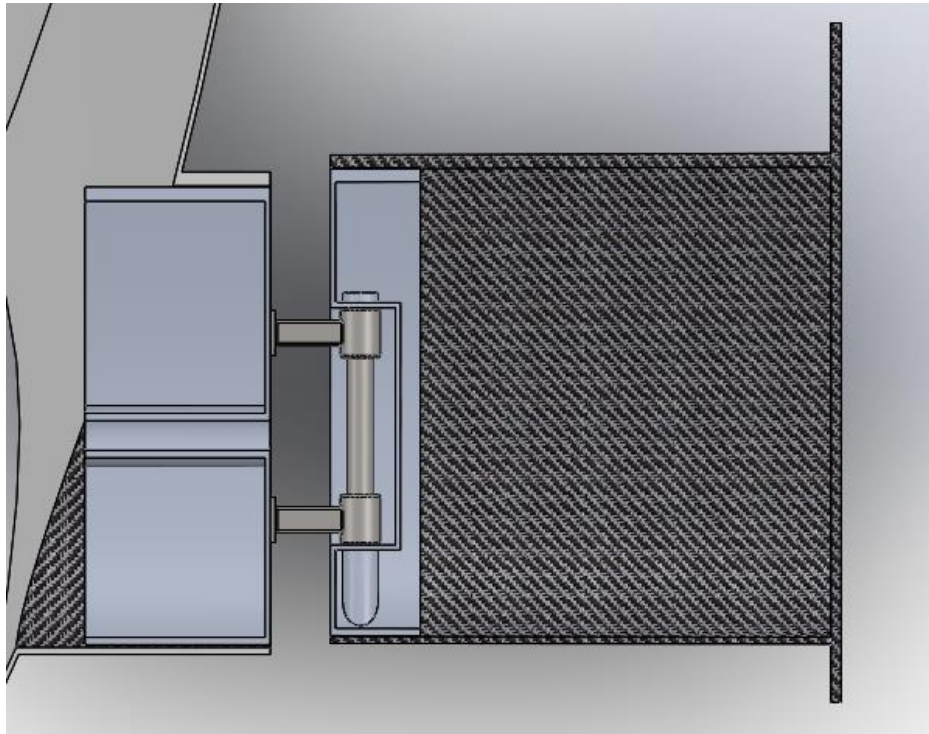


Ilustración 65: Vista isométrica del sistema de alerones móviles



Il·lustració 66: Vista de secció del sistema de alerons mòvils

9. ESTUDIO EN TRES DIMENSIONES (3D)

Esta parte del proyecto se ha basado en el análisis de los diseños realizados mediante Solidworks™ para comprobar su comportamiento de una manera más realista. La opción escogida para realizar este estudio ha sido una función *CFD (Computational Fluid Dynamics)* del programa SolidWorks™ llamada *FlowSimulation*. Esta extensión permite la simulación y cálculo del paso del fluido por las geometrías diseñadas de una manera bastante precisa, permitiendo obtener resultados de presiones y velocidades, cálculos de fuerzas generadas por el fluido en su paso por los volúmenes, entre otros.

En este caso, se han obtenido los siguientes resultados que ofrece esta extensión y son las siguientes:

- Adquisición de resultados de *downforce*, *drag*, fuerza contraria a la curva, coeficiente de sustentación negativa (C_L) y coeficiente de *drag* (C_D), mediante la opción **Surface Goals** de **Goal Plots**. Para ello, se han introducido las ecuaciones *Ecuación 1* y *Ecuación 2* dentro del programa para que el mismo sea capaz de calcularlas y ofrecer los valores correctos.
- Imágenes de la diferencia de presiones y velocidades en un plano escogido mediante la opción **Cut plots**. Esta opción nos ha permitido ver el comportamiento del aire a su paso por los distintos alerones diseñados en el proyecto, de esta manera se ha podido comprobar si el funcionamiento de los mismos es el correcto.
- Trayectorias del fluido a medida que atraviesa el volumen diseñado, con la opción **Flow Trajectories**. Esto nos ha permitido ver cómo se comporta el fluido a su paso por los alerones ya que muestra imágenes en movimiento que permiten captar más detalles. Se puede decir que simula el movimiento de las partículas del fluido a su paso por los volúmenes escogidos.
- Presiones y velocidades soportadas en una superficie escogida mediante la opción **Surface Plots**. Es una opción similar a la mencionada anteriormente **Cut plots** con la diferencia del dominio escogido. Esta función ha permitido la obtención de resultados en el propio alerón para poder analizar la distribución de presiones por ambos lados y comprobar su correcto funcionamiento.

El proceso hasta llegar a obtener los resultados mencionados anteriormente ha sido el siguiente:

Lo primero que se ha hecho es comprobar que la geometría es válida a ser estudiada, y eso se sabe realizando un chequeo del volumen de la geometría. Este paso es imprescindible, ya que con esta herramienta se sabe que sólidos de la moto no son aptos a estudios y se deben modificar hasta obtener todos los sólidos aptos.

Una vez ya se tiene toda la geometría apta se pasa a realizar un “wizard”, esta configuración es la que permite poner la geometría en el contexto fluido-dinámico que se desea, y se ha realizado los siguientes pasos:

- Se escoge una nueva configuración y se nombra el proyecto con el nombre que nosotros queramos.

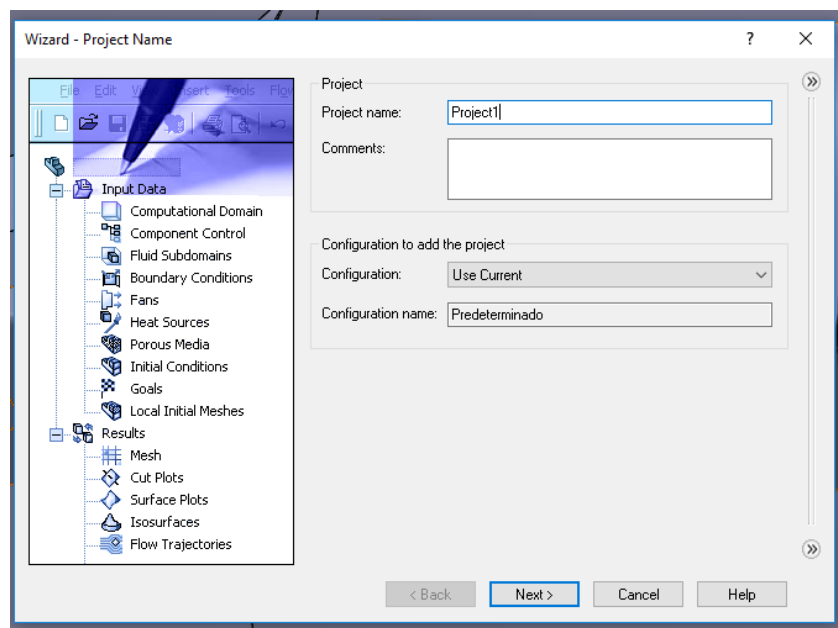
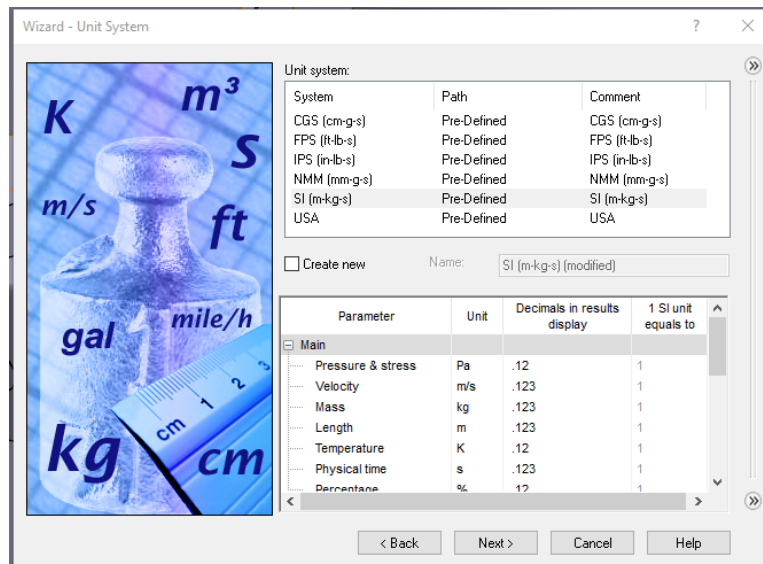


Ilustración 67: Ventana de wizard del FlowSimulation

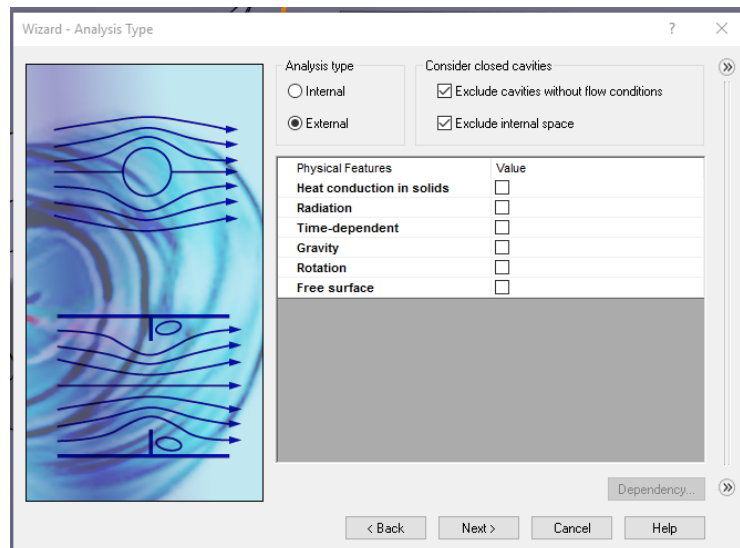
- Se selecciona con qué sistema unitario se realiza el estudio, en nuestro caso se ha seleccionado en Sistema Internacional.



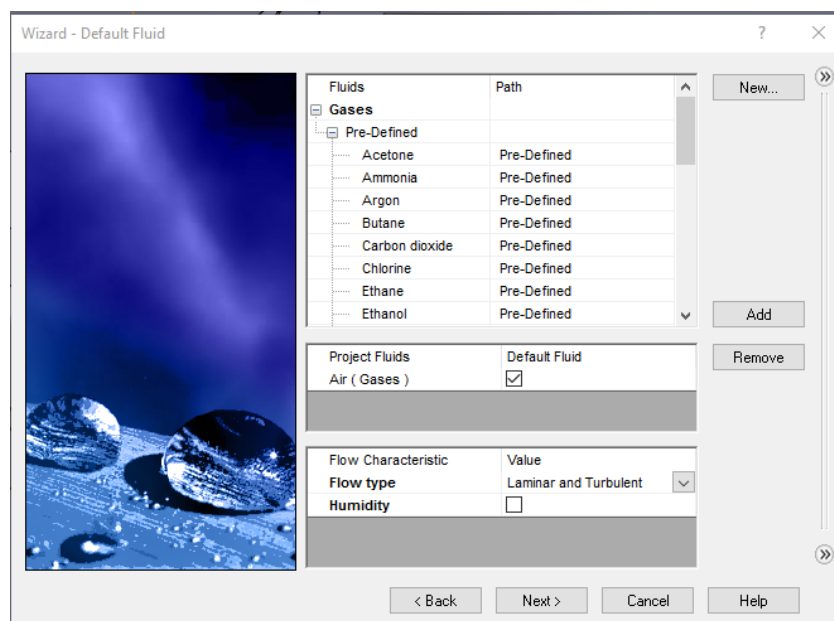
Il·lustració 68: Ventana de selecció de unitats del FlowSimulation

- En este paso se tiene que seleccionar que tipo de análisis se quiere que el programa haga. Hay dos tipos de análisis posibles, el análisis interno está destinado para simulaciones de circulación de un fluido por alguna geometría hueca como podría ser el paso de agua por una tubería, y el análisis externo que se basa en el estudio del paso de un fluido externamente por la geometría a estudiar.

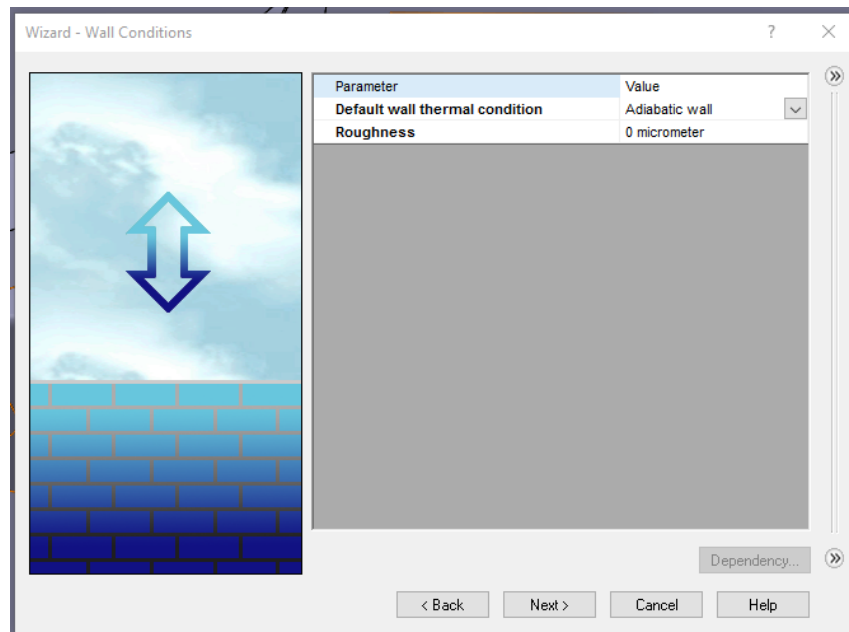
Se ha seleccionado la opción de análisis externo y también la opción de “*exclude cavities without flow condition*”, ya que solo se ha realizado el estudio del carenado con los dos tipos de alerón (fijos y móviles), y los espacios que hay son cavidades que no nos interesa estudiar y podría conllevar a error al programa.


 Il·lustració 69: Ventana de selecció del tip de flujo del *FlowSimulation*

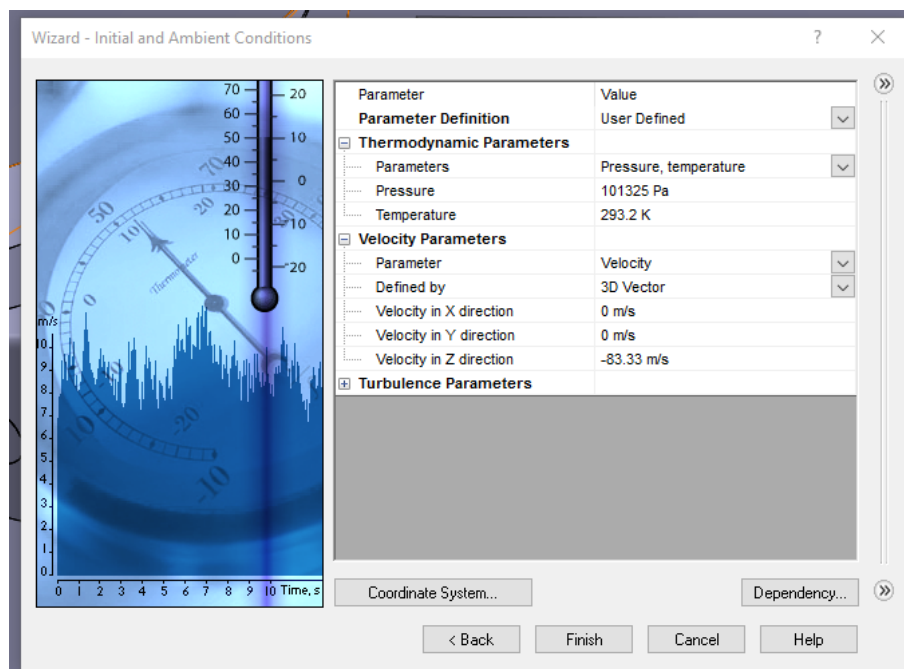
- En esta paso se selecciona el fluido con el que se realizará el estudio, en este caso, el aire.


 Il·lustració 70: Ventana de selecció del fluido de trabajo del *FlowSimulation*

- En este paso se debe definir las condiciones de trabajo. Se ha asumido que la pared es perfectamente lisa. Así que se ha mantenido la configuración predeterminada y avanzado al siguiente paso.

Il·lustració 71: Ventana de condiciones de la geometría en el *FlowSimulation*

- Por último en este paso se deben determinar las condiciones iniciales. Se ha seleccionado la velocidad que nosotros queremos en el eje frontal a la moto, en nuestro caso el eje Z. Las demás opciones como la presión y la temperatura atmosférica se han mantenido en la configuración predeterminada.

Il·lustració 72: Ventana de selección de parámetros del fluido del *FlowSimulation*

- Al acabar de establecer las condiciones generales de la simulación, se abre un menú, el cual nosotros podremos configurar las diferentes herramientas para tratar de realizar el mallado más preciso y sacar los resultados que se desean.

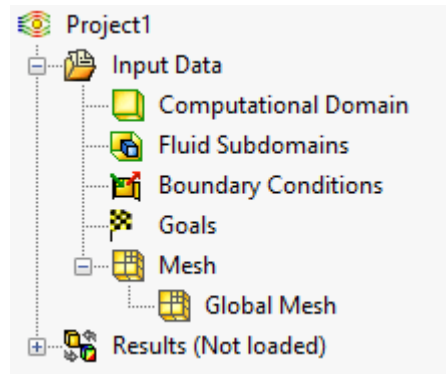


Ilustración 73: Opciones de resultados del *FlowSimulation*

- Una vez se han finalizado todos los pasos explicados anteriormente, entorno a nuestra geometría se se ha generado un “*Computational Domain*”, este es el entorno en el cual el programa realizará el estudio haciendo pasar el fluido en la dirección y velocidad que nosotros hemos configurado anteriormente, esta dimensión es ajustable pero no es recomendable reducir su tamaño en busca de una simulación más rápida, ya que el resultado será más impreciso, por lo que se deja el *Computational domain* tal como la predetermina el programa.
- Posteriormente se ha modificado el mallado para realizarlo a un nivel más alto, ya que el programa tiene predeterminado un mallado de nivel 3 el cual se considera que realizará una malla demasiado grande. Como la intención es obtener resultados más precisos, se ha realizado el estudio al nivel máximo para que el tamaño de la malla sea lo más pequeña posible.

Una vez se han determinado todas las configuraciones se podría ejecutar el programa, pero no se obtendría ningún resultado numérico con los que hacer una conclusión al estudio.

El estudio se centrará en los dos tipos de alerones que se han diseñado y ensamblado en la motocicleta, por lo que se han definido los “*goals*” (objetivos) que nos interesan, estos son las propiedades físicas que la geometría genera a causa del paso del aire por ellas.

Estos objetivos se pueden obtener de la geometría completa o bien de determinadas superficies dentro de todo el conjunto, en este caso se ha realizado el estudio de todo el carenado juntamente con los dos alerones ensamblados, ya que el flujo que al impactar contra el carenado crea corrientes que afectan al alerón. Por esta razón se ha escogido la opción de *Surface goals*, escogiendo todas las superficies del alerón, obteniendo la fuerza que el alerón ejerce de *downforce*, *drag* y fuerza contraria a la curva. También se ha utilizado la función de *Equation goal* lo que permite insertar la fórmula del coeficiente de *lift* y el coeficiente de *drag*, obteniendo así todos los datos imprescindibles en nuestro estudio aerodinámico.

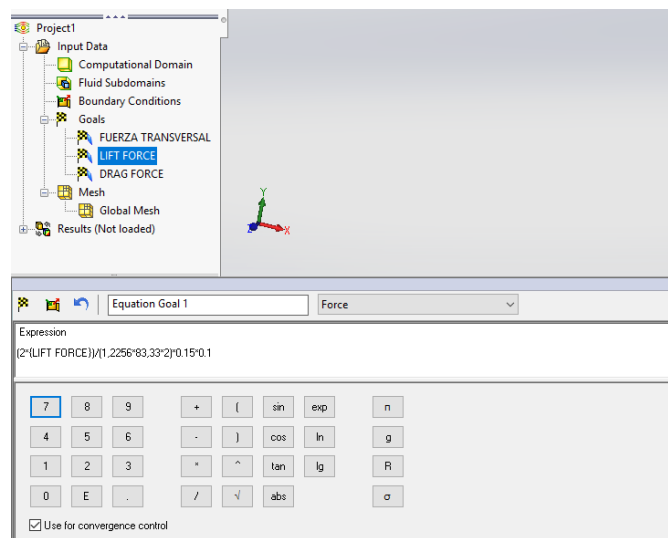


Ilustración 74: Ecuación ejemplo para la obtención de resultados

Nuestra idea es poder ver cómo reaccionan y trabajan los alerones a diferentes velocidades e inclinaciones ya que la motocicleta no mantiene siempre una velocidad constante, por lo que se realiza el estudio en desfases de 10 grados y rangos de velocidades que se inician en 100 km/h (27,77 m/s) hasta 300 km/h (83,33 m/s), con un paso de 50km/h.

Con tal de simplificar los nombres utilizados en las simulaciones, se ha decidido utilizar la siguiente nomenclatura:

$$\text{MOTO_} \left\{ \begin{array}{l} \text{F} \rightarrow \text{ALERONES FIJOS} \\ \text{M} \rightarrow \text{ALERONES MÓVILES} \end{array} \right. - \left\{ \begin{array}{l} 0 \\ 10 \\ 20 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} 30 \\ 40 \\ 50 \end{array} \right. \quad (\text{° DE INCLIN. MOTO})$$

Ejemplo:

MOTO_F_50: Simulación de los alerones fijos con la moto inclinada a 50 grados.

9.1. SIMULACIÓN DE LOS ALERONES EN POSICIÓN FIJA

Se ha realizado una primera simulación en la cual se ha estudiado el comportamiento de los alerones en una posición fijada por defecto, la cual no se ha visto modificada en ningún momento de la simulación, es decir, los alerones varían su ángulo de la misma manera que la moto lo hace a medida que ésta inclina para realizar un giro. La posición que se ha mantenido en este sistema ha sido la especificada en el apartado de diseño. Este análisis es necesario para poder comparar el trabajo y la eficacia que realizan ambos sistemas y ver las mejoras y desventajas de cada uno.

La simulaciones se han efectuado variando la inclinación de diez en diez grados respecto a la vertical, empezando por 0° y terminando a 50°, además, cada una de las inclinaciones ha sido estudiada con cinco valores distintos de velocidad, variando el módulo de cincuenta en cincuenta kilómetros por hora, comenzando por 100 km/h y terminando en 300 km/h.

A continuación, se muestran los resultados para cada una de las situaciones comentadas anteriormente (todos los valores numéricos reflejados en las tablas siguientes han sido extraídos de los resultados que se han obtenido de la función *FlowSimulation* del programa SolidWorks™). Para facilitar la comprensión de los resultados se ha introducido también una imagen de un *Cut Plot* y un *Surface Plot* a la velocidad máxima a la que se cree que puede circular la moto, para la situación a la que está sometida.

9.1.1. MOTO_F_0°

RESULTADOS SIMULACIONES EN RECTA (ALERÓN INTERIOR Y EXTERIOR)

27,77 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE INT	[N]	-4,941787854
	DARG INT	[N]	-0,960533414
	F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,028308161
	LIFT COEFFICIENT INT		-0,596505466
	DRAG COEFFICIENT INT		-0,115877685

41,66 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE INT	[N]	-11,76366109
	DARG INT	[N]	-2,175423054
	F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,087665022
	LIFT COEFFICIENT INT		-0,630937095
	DRAG COEFFICIENT INT		-0,116640215

55,56 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE INT	[N]	-20,48522062
	DARG INT	[N]	-3,738252722
	F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,150728718
	LIFT COEFFICIENT INT		-0,617951809
	DRAG COEFFICIENT INT		-0,112744584

69,64 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE INT	[N]	-33,83644523
	DARG INT	[N]	-6,70874659
	F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,328359344
	LIFT COEFFICIENT INT		-0,653126587
	DRAG COEFFICIENT INT		-0,129493812

83,33 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE INT	[N]	-55,69887882
	DARG INT	[N]	-9,865140521
	F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,420756511
	LIFT COEFFICIENT INT		-0,746664973
	DRAG COEFFICIENT INT		-0,132246017

DOWNFORCE (Y)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-4,942
41,66	-11,764
55,56	-20,485
69,64	-33,836
83,33	-55,699

DRAG (X)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-0,961
41,66	-2,175
55,56	-3,738
69,64	-6,709
83,33	-9,865

FUERZA CONTRARIA A LA CURVA (Z)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-0,028
41,66	-0,088
55,56	-0,151
69,64	-0,328
83,33	-0,421

Tabla 28: Resultados de los alerones en el sistema de alerones fijos a 0°

- DRAG**

El drag obtenido en las simulaciones no es excesivo en ninguna de las velocidades estudiadas. Se puede apreciar que cada uno de los alerones generaría un drag máximo de 9,87 N en la velocidad máxima de 300 km/h, siendo la suma de ambos alerones de 19,74 N (2,01 kg·f). Cabe destacar también que la moto no se mueve únicamente a esa velocidad en recta sino que se encuentra acelerando desde el principio de esta hasta el punto de frenada, por lo que también se deben tener

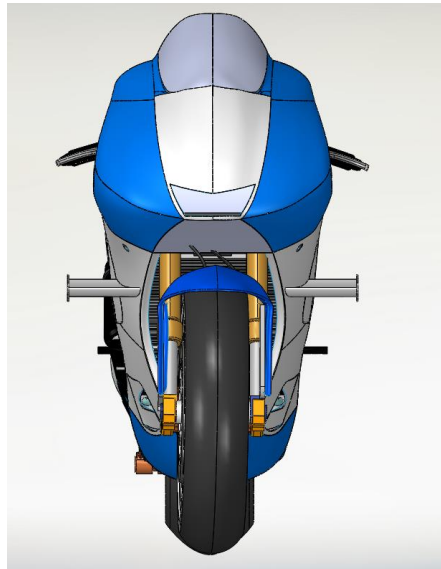
en cuenta los valores de resistencia al avance obtenidos de las velocidades anteriores que, como es lógico, son menores a los de la velocidad máxima.

- **DOWNFORCE**

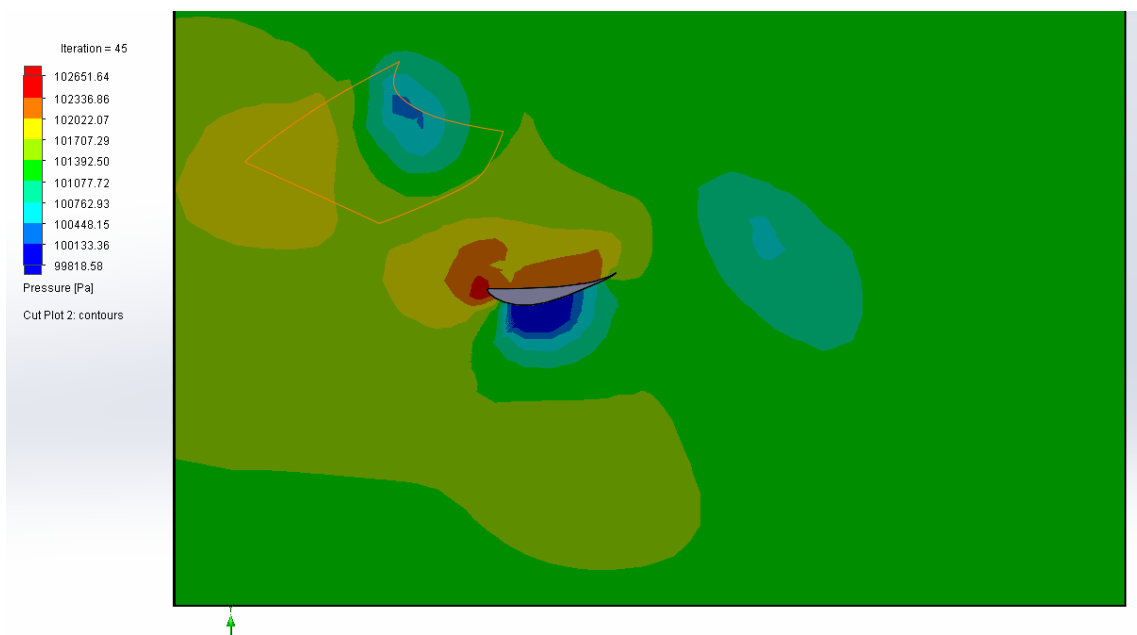
Los resultados obtenidos de este tipo de fuerza se consideran prácticamente inútiles en este tipo de situación ya que, la moto no precisa de fuerzas de apoyo en las rectas al no tener la necesidad de ganar apoyo o agarre en las ruedas. De todas formas es necesario especificar los resultados y se puede ver que a velocidades bajas, el valor obtenido no es demasiado grande. El valor comienza a ser considerable cuando la moto alcanza velocidades superiores a 200 km/h, y es que a esa velocidad ya se experimentan fuerzas de 20,49 N en cada alerón sumando un total de 41 N (4,18 kg·f). El máximo lo encontramos, como no, cuando el vehículo se desplaza a 300 km/h, velocidad a la cual se experimenta un downforce de 55,7 N por alerón, haciendo un total de 111,4 N (11,36 kg·f).

- **FUERZA CONTRARIA A LA CURVA**

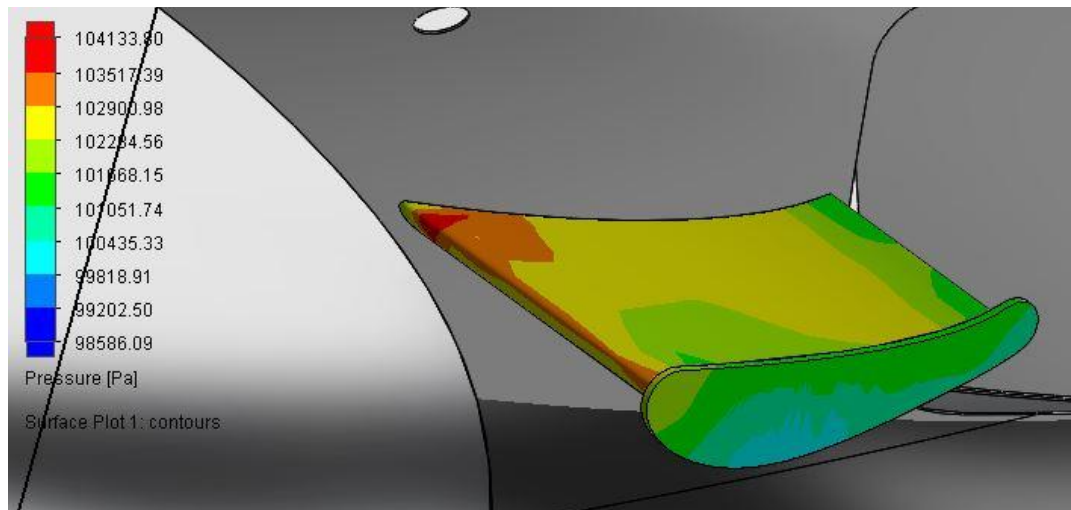
Con la moto en esta posición los valores de fuerza contraria a la curva son prácticamente nulos como es lógico ya que al tener la moto inclinación nula no se experimentan fuerzas transversales. En cuanto a los valores exactos obtenidos, se aprecia que en todo el rango de velocidades el módulo de la fuerza nunca supera los 0,5 N por alerón por lo que no se les debe dar importancia.



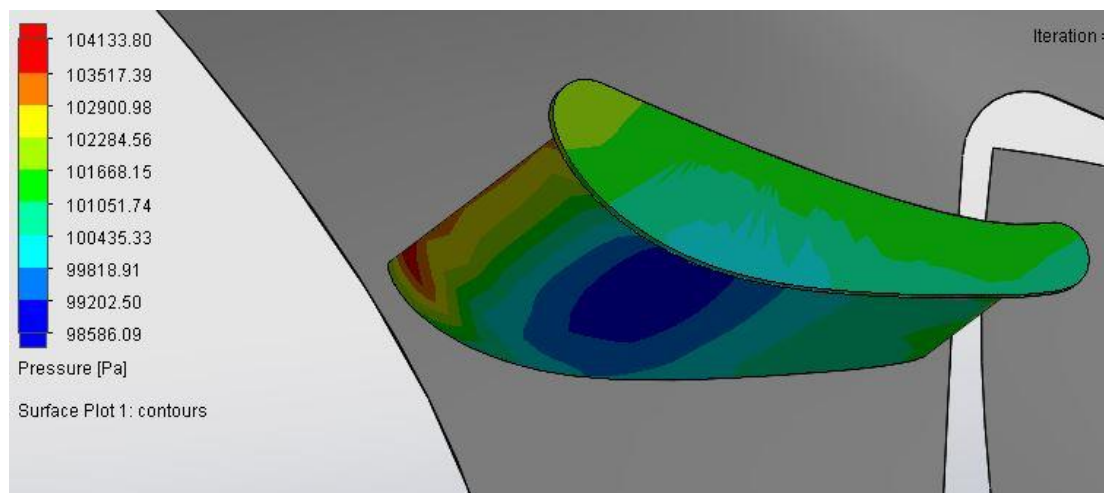
Il·lustració 75: Vista frontal de la moto a 0° con el sistema de alerones fijos



Il·lustració 76: Cut plot del alerón fijo a 0° a 300 km/h



Il·lustració 77: Surface plot del alerón fijo a 0° a 300 km/h (parte superior)



Il·lustració 78: Surface plot del alerón fijo a 0° a 300 km/h (parte inferior)

9.1.2. MOTO_F_10°

RESULTADOS SIMULACIONES EN CURVA A 10 GRADOS (ALERÓN INTERIOR)			
27,77 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE INT	[N]	-4,5128844
	DARG INT	[N]	-0,9988747
	F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,7730503
	LIFT COEFFICIENT INT		-0,5447341
	DRAG COEFFICIENT INT		-0,1205031
41,66 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE INT	[N]	-10,322016
	DARG INT	[N]	-2,2878183
	F.EXT.CURVA INT	[N]	-1,7654567
	LIFT COEFFICIENT INT		-0,5536153
	DRAG COEFFICIENT INT		-0,1226665
55,56 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE INT	[N]	-17,342592
	DARG INT	[N]	-4,9089662
	F.EXT.CURVA INT	[N]	-2,8637764
	LIFT COEFFICIENT INT		-0,5231521
	DRAG COEFFICIENT INT		-0,148053
69,64 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE INT	[N]	-28,03333
	DARG INT	[N]	-8,0461314
	F.EXT.CURVA INT	[N]	-4,6288911
	LIFT COEFFICIENT INT		-0,5411122
	DRAG COEFFICIENT INT		-0,1553083
83,33 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE INT	[N]	-43,889713
	DARG INT	[N]	-11,765642
	F.EXT.CURVA INT	[N]	-7,1034877
	LIFT COEFFICIENT INT		-0,5883586
	DRAG COEFFICIENT INT		-0,157723

DOWNFORCE (Y)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-4,513
41,66	-10,322
55,56	-17,343
69,64	-28,033
83,33	-43,890

DRAG (X)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-0,999
41,66	-2,288
55,56	-4,909
69,64	-8,046
83,33	-11,766

FUERZA CONTRARIA A LA CURVA (Z)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-0,773
41,66	-1,765
55,56	-2,864
69,64	-4,629
83,33	-7,103

Tabla 29: Resultados del alerón interior en el sistema de alerones fijos a 10°

RESULTADOS SIMULACIONES EN CURVA A 10 GRADOS (ALERÓN EXTERIOR)

27,77 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE EXT	[N]	-4,605839
	DARG EXT	[N]	-0,7149173
	F.EXT.CURVA EXT	[N]	-0,8085125
	LIFT COEFFICIENT EXT		-0,5559543
	DRAG COEFFICIENT EXT		-0,0862468

41,66 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE EXT	[N]	-10,617527
	DARG EXT	[N]	-2,2680221
	F.EXT.CURVA EXT	[N]	-1,8850331
	LIFT COEFFICIENT EXT		-0,5694649
	DRAG COEFFICIENT EXT		-0,1216051

55,56 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE EXT	[N]	-18,168649
	DARG EXT	[N]	-3,9356338
	F.EXT.CURVA EXT	[N]	-3,2269867
	LIFT COEFFICIENT EXT		-0,5480707
	DRAG COEFFICIENT EXT		-0,1186975

69,64 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE EXT	[N]	-30,217078
	DARG EXT	[N]	-6,4458394
	F.EXT.CURVA EXT	[N]	-5,3714134
	LIFT COEFFICIENT EXT		-0,5832639
	DRAG COEFFICIENT EXT		-0,1244191

83,33 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE EXT	[N]	-46,558431
	DARG EXT	[N]	-9,6739003
	F.EXT.CURVA EXT	[N]	-8,1254764
	LIFT COEFFICIENT EXT		-0,6241337
	DRAG COEFFICIENT EXT		-0,1296824

DOWNFORCE (Y)

Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-4,606
41,66	-10,618
55,56	-18,169
69,64	-30,217
83,33	-46,558

DRAG (X)

Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-0,715
41,66	-2,268
55,56	-3,936
69,64	-6,446
83,33	-9,674

FUERZA CONTRARIA A LA CURVA (Z)

Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-0,809
41,66	-1,885
55,56	-3,227
69,64	-5,371
83,33	-8,125

Tabla 30: Resultados del alerón exterior en el sistema de alerones fijos a 10°

- DRAG**

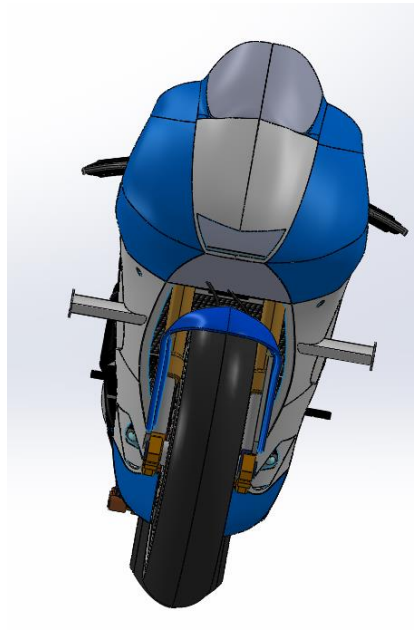
Los resultados obtenidos de la simulación respecto a la resistencia al avance para esta posición de la moto no son demasiado elevados. Se encuentran valores que varían desde 1 N en el alerón interior y 0,72 N en el exterior a una velocidad de 100 km/h, hasta valores de 11,77 N en el interior y 9,67 N en el exterior en valores de velocidad de 300 km/h, sumando un máximo de 21,44 N (2,19 kg·f) en total. Se cree que una moto se puede mover en todo el rango de velocidades estudiadas con esta inclinación por lo que todos los resultados se deben tener en cuenta.

- **DOWNFORCE**

Como se ha dicho anteriormente, se considera que, con la moto inclinada a 10 grados, se debe tener en cuenta todo el rango de velocidades estudiados por lo que, en este caso se obtienen valores algo bajos para velocidades bajas pero a partir de 150 km/h se comienzan a experimentar fuerzas superiores a los 10 N en cada uno de los alerones, aspecto que se puede considerar como aceptable. El máximo lo encontramos en 300 km/h con un downforce de 43,89 N en el alerón interior y de 46,56 N en el alerón exterior que hacen un total de 90,45 N (9,22 kg·f).

- **FUERZA CONTRARIA A LA CURVA**

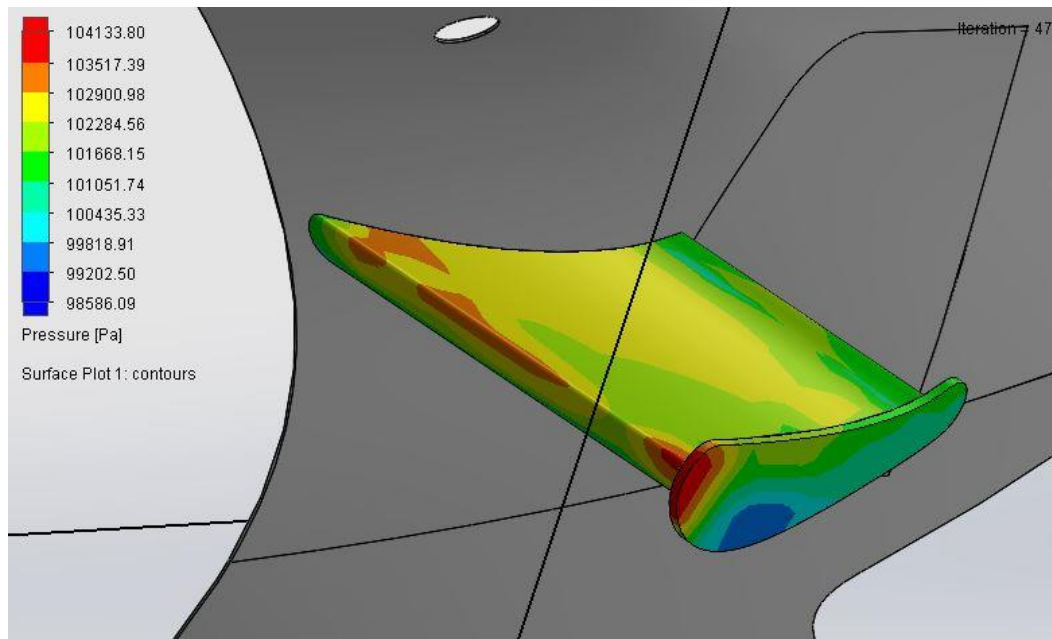
En este tipo de fuerza se siguen obteniendo valores bastante bajos en todo el rango de velocidades estudiado ya que la moto aún no se encuentra en una inclinación importante. En velocidades bajas, se obtienen valores muy poco importantes que no superan la unidad de fuerza ni en el alerón interior como en el exterior, pese a ello la fuerza aumenta a medida que aumenta la velocidad presentando una cifra algo significativa ya a 300 km/h como son los 7,10 N en el alerón interior y 8,13 N en el exterior sumando un total de 15,23 N (1,55 kg·f).



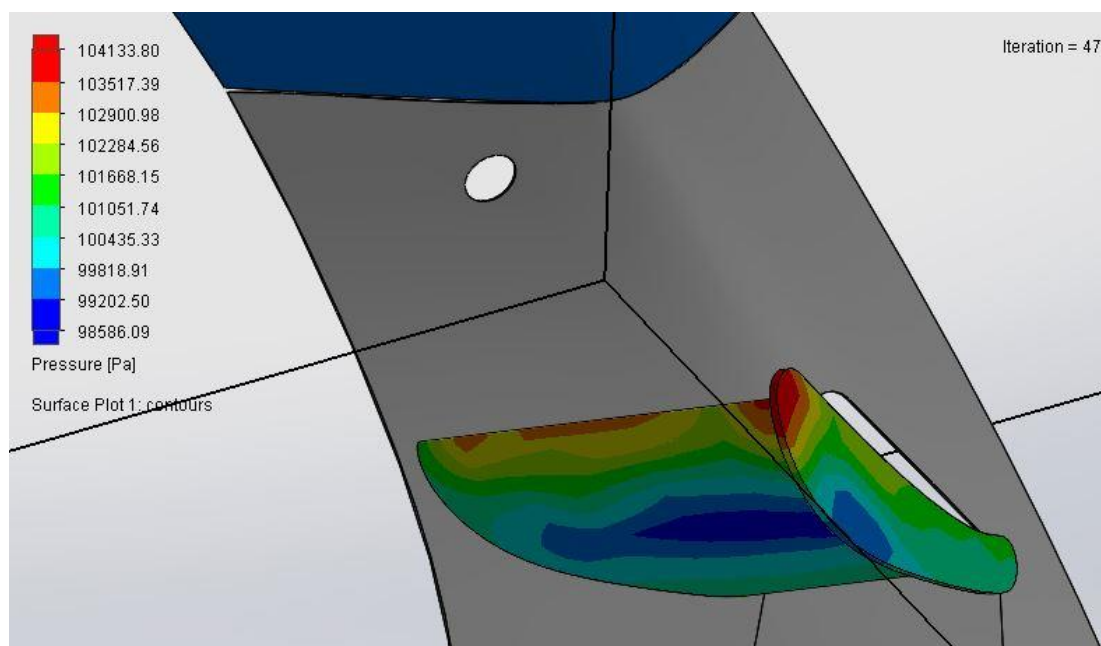
Il·lustració 79: Vista frontal de la moto a 10° con el sistema de alerones fijos



Il·lustració 80: Cut plot del alerón fijo a 10° a 300 km/h



Il·lustració 81: Surface plot del alerón fijo a 10° a 300 km/h (parte superior)



Il·lustració 82: Surface plot del alerón fijo a 10° a 300 km/h (parte inferior)

9.1.3. MOTO_F_20°

RESULTADOS SIMULACIONES EN CURVA A 20 GRADOS (ALERÓN INTERIOR)

27,77 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE INT	[N]	-4,037800339
	DARG INT	[N]	-0,74139118
	F.EXT.CURVA INT	[N]	-1,448532332
	LIFT COEFFICIENT INT		-0,487388379
	DRAG COEFFICIENT INT		-0,089440609

41,66 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE INT	[N]	-8,58151288
	DARG INT	[N]	-2,245785821
	F.EXT.CURVA INT	[N]	-2,864930074
	LIFT COEFFICIENT INT		-0,460264434
	DRAG COEFFICIENT INT		-0,120412874

55,56 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE INT	[N]	-13,68065631
	DARG INT	[N]	-3,600735685
	F.EXT.CURVA INT	[N]	-4,74860029
	LIFT COEFFICIENT INT		-0,412687101
	DRAG COEFFICIENT INT		-0,108597111

69,64 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE INT	[N]	-22,32066868
	DARG INT	[N]	-6,271334386
	F.EXT.CURVA INT	[N]	-7,777272323
	LIFT COEFFICIENT INT		-0,430843786
	DRAG COEFFICIENT INT		-0,121050779

83,33 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE INT	[N]	-37,53523231
	DARG INT	[N]	-9,196797278
	F.EXT.CURVA INT	[N]	-13,21838716
	LIFT COEFFICIENT INT		-0,50317428
	DRAG COEFFICIENT INT		-0,089773153

DOWNFORCE (Y)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-4,038
41,66	-8,582
55,56	-13,681
69,64	-22,321
83,33	-37,535

DRAG (X)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-0,741
41,66	-2,246
55,56	-3,601
69,64	-6,271
83,33	-9,197

FUERZA CONTRARIA A LA CURVA (Z)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-1,449
41,66	-2,865
55,56	-4,749
69,64	-7,777
83,33	-13,218

Tabla 31: Resultados del alerón interior en el sistema de alerones fijos a 20°

RESULTADOS SIMULACIONES EN CURVA A 20 GRADOS (ALERÓN EXTERIOR)

27,77 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE EXT	[N]	-4,552490353
	DARG EXT	[N]	-0,805228267
	F.EXT.CURVA EXT	[N]	-1,601290634
	LIFT COEFFICIENT EXT		-0,549514762
	DRAG COEFFICIENT EXT		-0,097141845

41,66 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE EXT	[N]	-9,634178535
	DARG EXT	[N]	-2,361515326
	F.EXT.CURVA EXT	[N]	-3,548818011
	LIFT COEFFICIENT EXT		-0,516723541
	DRAG COEFFICIENT EXT		-0,126617972

55,56 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE EXT	[N]	-17,65776744
	DARG EXT	[N]	-4,007605019
	F.EXT.CURVA EXT	[N]	-6,188293961
	LIFT COEFFICIENT EXT		-0,532659596
	DRAG COEFFICIENT EXT		-0,090708468

69,64 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE EXT	[N]	-31,08205318
	DARG EXT	[N]	-5,882032591
	F.EXT.CURVA EXT	[N]	-10,72968814
	LIFT COEFFICIENT EXT		-0,599960048
	DRAG COEFFICIENT EXT		-0,113536383

83,33 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE EXT	[N]	-44,23062807
	DARG EXT	[N]	-8,930944091
	F.EXT.CURVA EXT	[N]	-15,63011998
	LIFT COEFFICIENT EXT		-0,592928645
	DRAG COEFFICIENT EXT		-0,119722753

DOWNFORCE (Y)

Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-4,552
41,66	-9,634
55,56	-17,658
69,64	-31,082
83,33	-44,231

DRAG (X)

Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-0,805
41,66	-2,362
55,56	-4,008
69,64	-5,882
83,33	-8,931

FUERZA CONTRARIA A LA CURVA (Z)

Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-1,601
41,66	-3,549
55,56	-6,188
69,64	-10,730
83,33	-15,630

Tabla 32: Resultados del alerón exterior en el sistema de alerones fijos a 20°

- DRAG**

Los valores obtenidos son algo menores que en el estudio de 10 grados en todo el rango de velocidades. En velocidades bajas como pueden ser los 150 km/h, el resultado obtenido no supera en ningún caso los 5 N teniendo en cuenta la suma de ambos alerones mientras que, a velocidades altas, el módulo de la suma de ambas fuerzas alcanza los 18,13 N (1,85 kg·f).

- **DOWNFORCE**

El downforce experimentado en esta posición vuelve a disminuir respecto al estudio realizado en la posición anterior. En este caso se encuentran valores que, a velocidades bajas, vuelven a ser algo bajos pero aumentan a medida que se incrementa la velocidad. En la velocidad máxima estudiada se obtienen valores de 37,54 N en el alerón interior y de 44,23 N en el exterior, sumando un total de 81,77 N (8,34 kg·f).

- **FUERZA CONTRARIA A LA CURVA**

Los valores que se obtienen comienzan a ganar importancia llegados a este punto, aunque sigan siendo bastante inferiores a los obtenidos de downforce en esta posición. Es sobre todo a velocidades altas como por ejemplo los 250 km/h cuando se empiezan a ver valores superiores a 15 N, llegando a presenciar los 18,51 N (1,89 kg·f) en el total de ambos alerones.

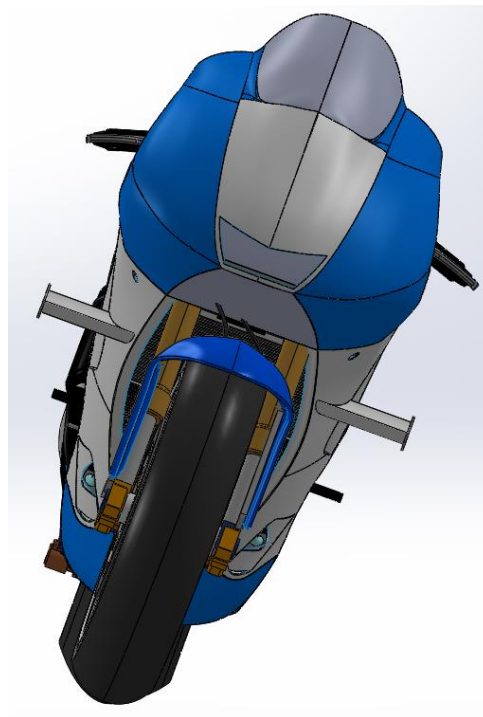
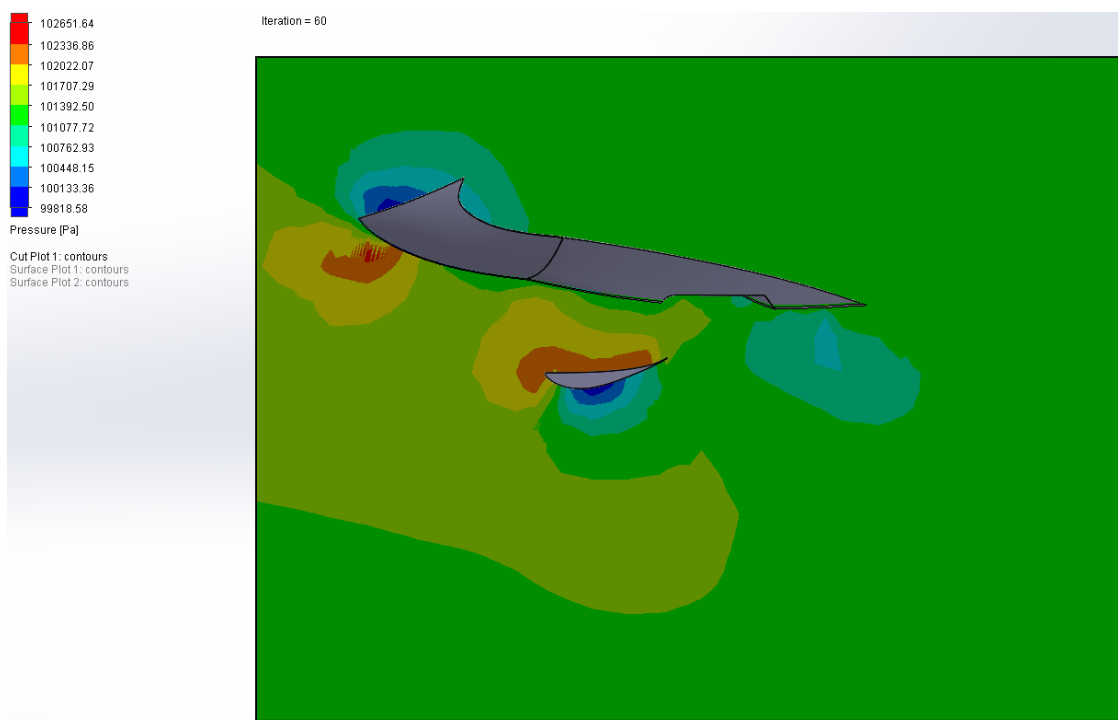
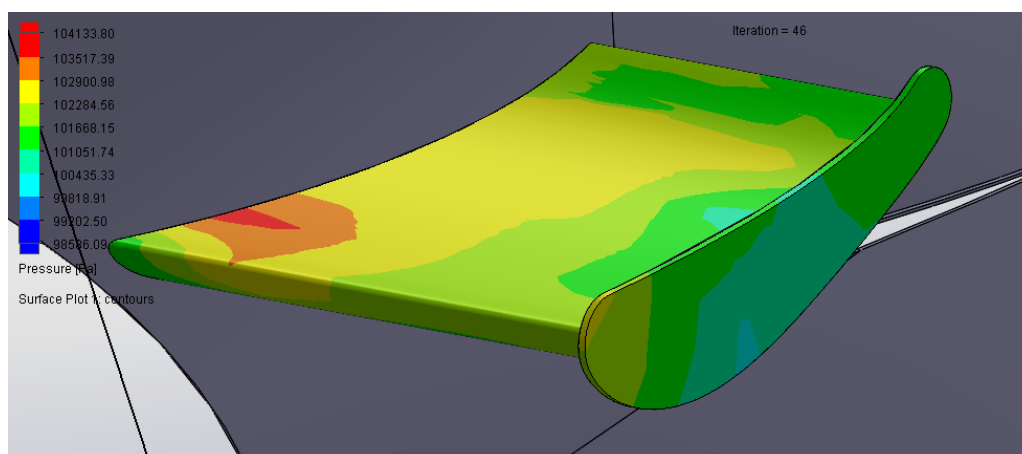


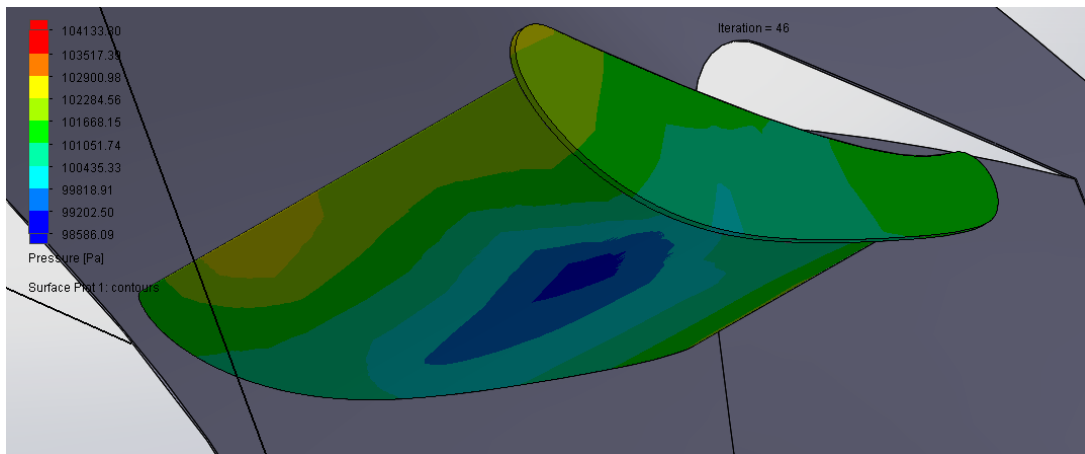
Ilustración 83: Vista frontal de la moto a 20° con el sistema de alerones fijos



Il·lustració 84: Cut plot del aleró fijo a 20° a 300 km/h



Il·lustració 85: Surface plot del aleró fijo a 20° a 300 km/h (parte superior)



Il·lustració 86: Surface plot del aleró fijo a 20° a 300 km/h (parte inferior)

9.1.4. MOTO_F_30°

RESULTADOS SIMULACIONES EN CURVA A 30 GRADOS (ALERÓN INTERIOR)

27,77 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE INT	[N]	-4,1621441
	DARG INT	[N]	-0,9731553
	F.EXT.CURVA INT	[N]	-2,5136439
	LIFT COEFFICIENT INT		-0,5023975
	DRAG COEFFICIENT INT		-0,1174004

41,66 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE INT	[N]	-9,4895668
	DARG INT	[N]	-2,217308
	F.EXT.CURVA INT	[N]	-5,7234843
	LIFT COEFFICIENT INT		-0,5089674
	DRAG COEFFICIENT INT		-0,118886

55,56 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE INT	[N]	-16,859177
	DARG INT	[N]	-3,8604908
	F.EXT.CURVA INT	[N]	-10,119126
	LIFT COEFFICIENT INT		-0,5085695
	DRAG COEFFICIENT INT		-0,1164312

69,64 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE INT	[N]	-25,416866
	DARG INT	[N]	-5,7427324
	F.EXT.CURVA INT	[N]	-14,541983
	LIFT COEFFICIENT INT		-0,490608
	DRAG COEFFICIENT INT		-0,1108476

83,33 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE INT	[N]	-36,831401
	DARG INT	[N]	-8,3401085
	F.EXT.CURVA INT	[N]	-21,038688
	LIFT COEFFICIENT INT		-0,4937391
	DRAG COEFFICIENT INT		-0,1118024

DOWNFORCE (Y)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-4,162
41,66	-9,490
55,56	-16,859
69,64	-25,417
83,33	-36,831

DRAG (X)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-0,973
41,66	-2,217
55,56	-3,86
69,64	-5,743
83,33	-8,34

FUERZA CONTRARIA A LA CURVA (Z)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-2,513
41,66	-5,723
55,56	-10,119
69,64	-14,541
83,33	-21,039

Tabla 33: Resultados del alerón interior en el sistema de alerones fijos a 30°

RESULTADOS SIMULACIONES EN CURVA A 30 GRADOS (ALERÓN EXTERIOR)

27,77 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE EXT	[N]	-3,8566106
	DARG EXT	[N]	-0,7702977
	F.EXT.CURVA EXT	[N]	-2,1521934
	LIFT COEFFICIENT EXT		-0,4655176
	DRAG COEFFICIENT EXT		-0,0929279

41,66 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE EXT	[N]	-9,2243474
	DARG EXT	[N]	-1,8509306
	F.EXT.CURVA EXT	[N]	-5,1458685
	LIFT COEFFICIENT EXT		-0,4947425
	DRAG COEFFICIENT EXT		-0,0992418

55,56 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE EXT	[N]	-16,55436
	DARG EXT	[N]	-3,3557476
	F.EXT.CURVA EXT	[N]	-9,2389593
	LIFT COEFFICIENT EXT		-0,4993745
	DRAG COEFFICIENT EXT		-0,1012083

69,64 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE EXT	[N]	-25,693072
	DARG EXT	[N]	-5,241166
	F.EXT.CURVA EXT	[N]	-14,347294
	LIFT COEFFICIENT EXT		-0,4959395
	DRAG COEFFICIENT EXT		-0,1011662

83,33 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE EXT	[N]	-37,763621
	DARG EXT	[N]	-7,7181181
	F.EXT.CURVA EXT	[N]	-21,120538
	LIFT COEFFICIENT EXT		-0,5062359
	DRAG COEFFICIENT EXT		-0,1034644

DOWNFORCE (Y)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-3,857
41,66	-9,224
55,56	-16,554
69,64	-25,693
83,33	-37,764

DRAG (X)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-0,770
41,66	-1,851
55,56	-3,356
69,64	-5,241
83,33	-7,718

FUERZA CONTRARIA A LA CURVA (Z)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-2,152
41,66	-5,146
55,56	-9,239
69,64	-14,347
83,33	-21,121

Tabla 34: Resultados del alerón exterior en el sistema de alerones fijos a 30°

- DRAG**

Todos los valores obtenidos en el rango de velocidades expuesto en las tablas se pueden considerar como buenos tanto en el alerón interior como exterior ya que en ningún caso se sobrepasan valores superiores a 10 N (1 kg·f), el valor máximo obtenido es de 8,34 N en el interior a una velocidad de 83,33 m/s o 300 km/h. De todas maneras, esta velocidad se puede entender como una velocidad demasiado alta para alcanzarla con una inclinación de 30° por lo que, el valor máximo a tener en cuenta en esta posición se puede considerar el obtenido a 69,64 m/s o 250 km/h que es de 5,74 N en el interior y de 3,36 N en el exterior, generando un total de 9,1 N. Teniendo en cuenta que la moto con la que

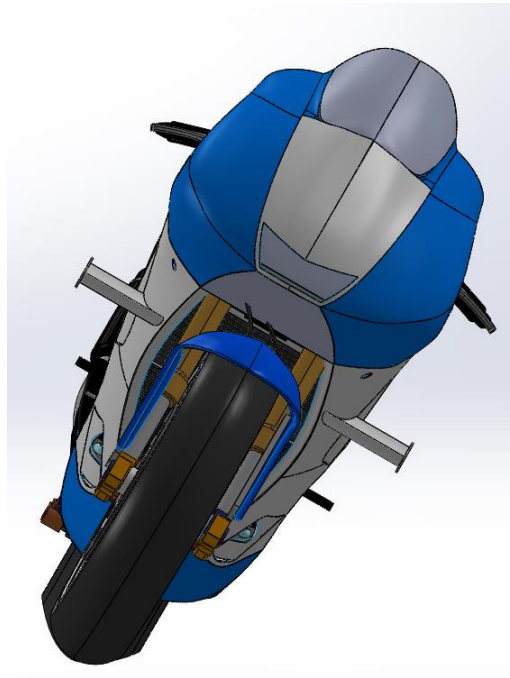
trabajamos posee un motor de unos 250 cv aproximadamente, se puede asegurar que dicha fuerza no generará una desventaja importante en la moto.

- **DOWNFORCE**

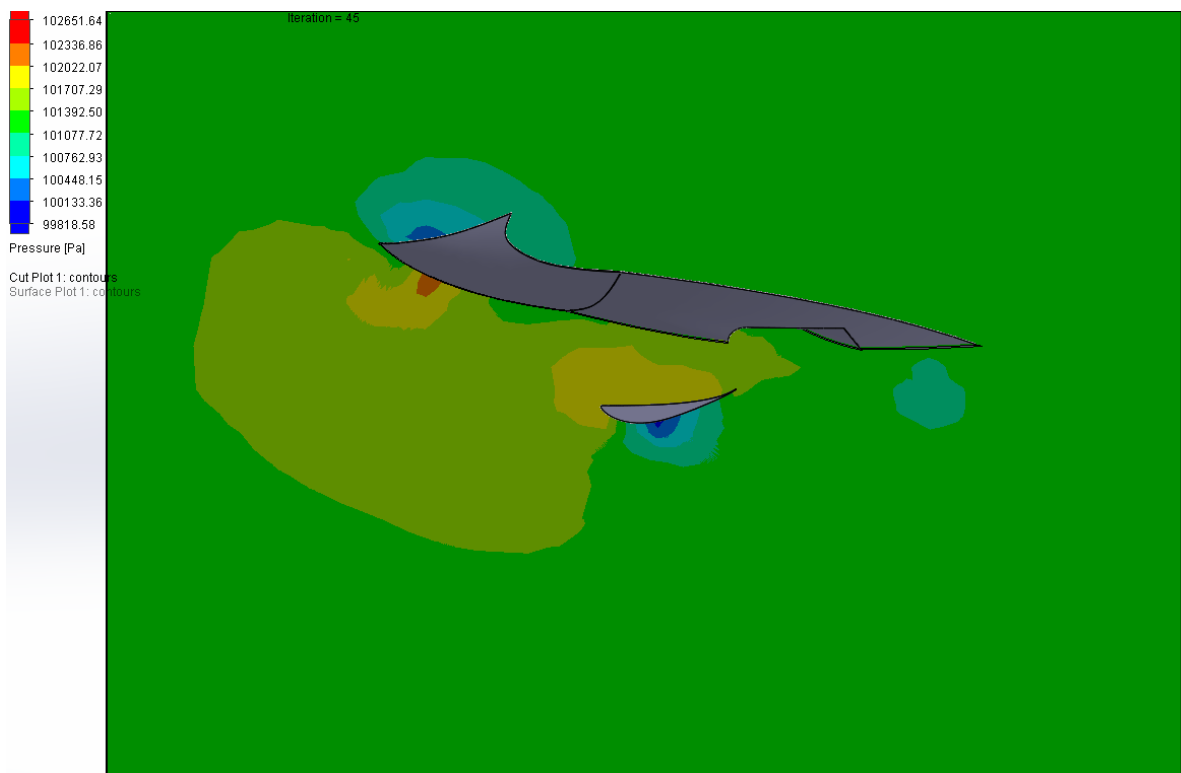
Los valores obtenidos son bastante discretos a velocidades bajas, destacando únicamente a un régimen de velocidades medio y alto como pueden ser velocidades a partir de los 250 km/h, donde se obtienen valores superiores a 25 N en cada uno de los alerones, generando un total de 51,11 N (5,21 kg·f) como máximo valor. A partir de estos valores de inclinación ya se comienza a notar de manera significativa la pérdida de downforce, transmitiéndose esa pérdida a la componente horizontal hacia el exterior de la curva.

- **FUERZA CONTRARIA A LA CURVA**

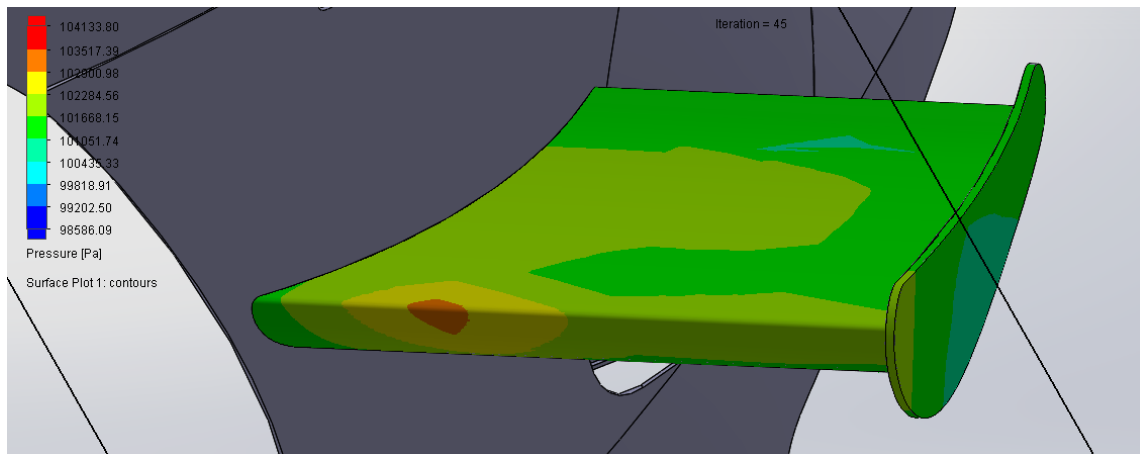
Como se ha dicho anteriormente, en este punto se comienza a notar el incremento de esta fuerza. Una vez situada la moto a esta inclinación, se comienzan a obtener valores de fuerza superiores a los 20 N a partir de velocidades superiores a 200 km/h. Se puede apreciar en los resultados que, sumando ambos alerones, se obtiene una fuerza máxima de 28,89 N (2,95 kg·f) a una velocidad de 250 km/h que, como se ha comentado previamente, es la velocidad que se supone prácticamente máxima a una inclinación como la actual.



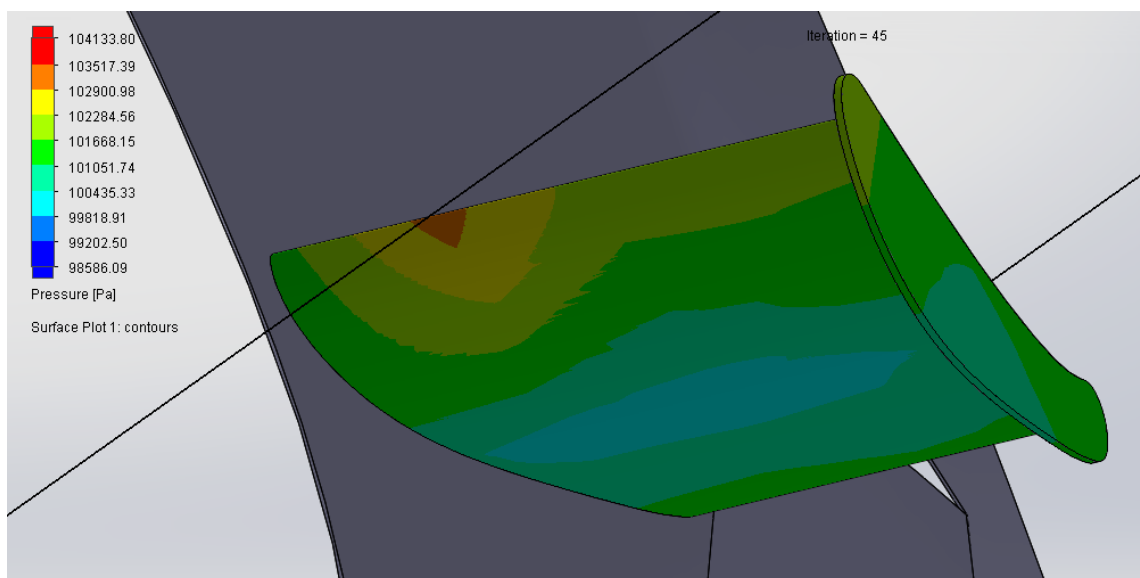
Il·lustració 87: Vista frontal de la moto a 30° con el sistema de alerones fijos



Il·lustració 88: Cut plot del alerón fijo a 30° a 250 km/h



Il·lustració 89: Surface plot del alerón fijo a 30° a 250 km/h (parte superior)



Il·lustració 90: Surface plot del alerón fijo a 30° a 250 km/h (parte inferior)

9.1.5. MOTO_F_40°

RESULTADOS SIMULACIONES EN CURVA A 40 GRADOS (ALERÓN INTERIOR)

27,77 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE INT	[N]	-3,185254832
	DARG INT	[N]	-0,694159957
	F.EXT.CURVA INT	[N]	-2,735826945
	LIFT COEFFICIENT INT		-0,384480672
	DRAG COEFFICIENT INT		-0,083742687

41,66 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE INT	[N]	-7,525154811
	DARG INT	[N]	-1,652502545
	F.EXT.CURVA INT	[N]	-6,451539848
	LIFT COEFFICIENT INT		-0,403607285
	DRAG COEFFICIENT INT		-0,088602652

55,56 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE INT	[N]	-13,57931775
	DARG INT	[N]	-2,973579547
	F.EXT.CURVA INT	[N]	-11,63817968
	LIFT COEFFICIENT INT		-0,409630149
	DRAG COEFFICIENT INT		-0,08968227

69,64 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE INT	[N]	-22,70349909
	DARG INT	[N]	-4,623339305
	F.EXT.CURVA INT	[N]	-18,89484403
	LIFT COEFFICIENT INT		-0,438233354
	DRAG COEFFICIENT INT		-0,089240788

83,33 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE INT	[N]	-31,40934442
	DARG INT	[N]	-7,082194803
	F.EXT.CURVA INT	[N]	-26,91165928
	LIFT COEFFICIENT INT		-0,421054388
	DRAG COEFFICIENT INT		-0,094939555

DOWNFORCE (Y)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-3,185
41,66	-7,525
55,56	-13,579
69,64	-22,703
83,33	-31,409

DRAG (X)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-0,694
41,66	-1,653
55,56	-2,974
69,64	-4,623
83,33	-7,082

FUERZA CONTRARIA A LA CURVA (Z)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-2,736
41,66	-6,452
55,56	-11,638
69,64	-18,895
83,33	-26,912

Tabla 35: Resultados del alerón interior en el sistema de alerones fijos a 40°

RESULTADOS SIMULACIONES EN CURVA A 40 GRADOS (ALERÓN EXTERIOR)

27,77 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE EXT	[N]	-2,951099545
	DARG EXT	[N]	-0,950833808
	F.EXT.CURVA EXT	[N]	-2,413736711
	LIFT COEFFICIENT EXT		-0,356216628
	DRAG COEFFICIENT EXT		-0,114707535

41,66 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE EXT	[N]	-6,780777225
	DARG EXT	[N]	-2,156500864
	F.EXT.CURVA EXT	[N]	-5,537316604
	LIFT COEFFICIENT EXT		-0,363683028
	DRAG COEFFICIENT EXT		-0,11562566

55,56 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE EXT	[N]	-12,12228606
	DARG EXT	[N]	-3,98709182
	F.EXT.CURVA EXT	[N]	-9,96285464
	LIFT COEFFICIENT EXT		-0,365677712
	DRAG COEFFICIENT EXT		-0,120249497

69,64 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE EXT	[N]	-18,95930448
	DARG EXT	[N]	-6,231289545
	F.EXT.CURVA EXT	[N]	-15,49272502
	LIFT COEFFICIENT EXT		-0,365961192
	DRAG COEFFICIENT EXT		-0,120277824

83,33 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE EXT	[N]	-27,29636381
	DARG EXT	[N]	-8,920469216
	F.EXT.CURVA EXT	[N]	-22,28640381
	LIFT COEFFICIENT EXT		-0,365918295
	DRAG COEFFICIENT EXT		-0,119582334

DOWNFORCE (Y)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-2,951
41,66	-6,781
55,56	-12,122
69,64	-18,959
83,33	-27,296

DRAG (X)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-0,951
41,66	-2,157
55,56	-3,987
69,64	-6,231
83,33	-8,920

FUERZA CONTRARIA A LA CURVA (Z)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-2,414
41,66	-5,537
55,56	-9,963
69,64	-15,493
83,33	-22,286

Tabla 36: Resultados del alerón exterior en el sistema de alerones fijos a 40°

- DRAG**

En este caso el drag obtenido es aún menor y en un rango de velocidades bajos, como puede ser una velocidad de 27,77 m/s, no se superan los 2 N de fuerza de resistencia al avance, más exactamente, y sumando ambos alerones obtendríamos un valor conjunto de 1,65 N, por lo que se puede considerar despreciable incluso. Si se mira el otro extremo y se tienen en cuenta las velocidades más elevadas, el drag producido por ambos alerones no superaría en ningún caso el valor de 16 N (1,63 kg·f), valor que se debe tener en cuenta aunque tampoco supone un problema en una máquina como la estudiada, además, como se ha explicado en el análisis de 30 grados, no se cree que la moto pudiese llegar a los valores de velocidad máximos estudiados en esta posición por lo que,

tampoco se cree que llegarán a encontrarse estos valores de resistencia al avance comentados.

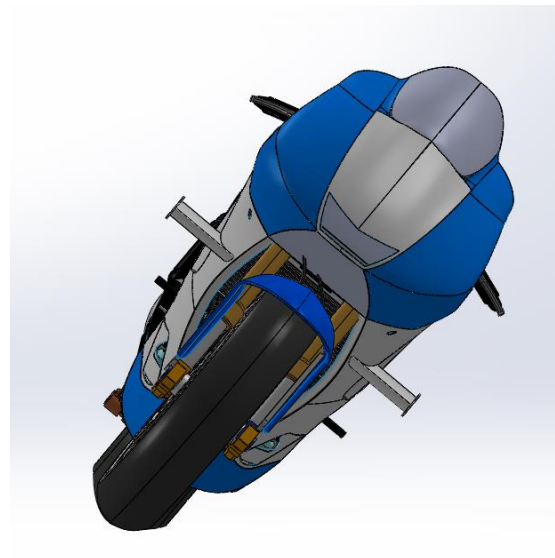
- **DOWNFORCE**

Una vez la moto llega a esta inclinación, el valor del downforce obtenido se ve muy mermado y prácticamente se igualan los resultados con la fuerza contraria a la curva. Siguiendo el Teorema de Pitágoras, debería igualarse el módulo de ambas fuerzas con un ángulo de 45° y, viendo la progresión obtenida en los resultados anteriores, este principio se cumpliría.

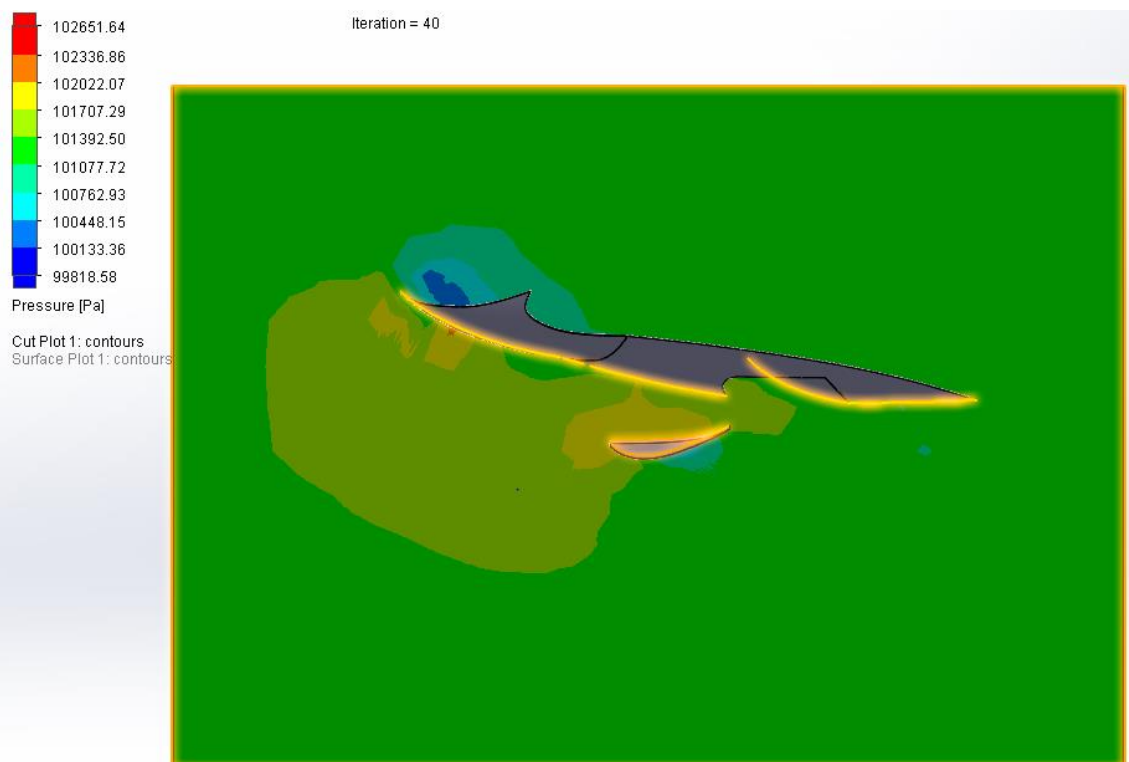
Analizando los resultados, se aprecia que no es hasta una velocidad como los 200 km/h cuando el conjunto de alerones comienza a hacer un trabajo considerable y supera los 20 N. Considerando una velocidad máxima de 250 km/h en esta posición de la moto, el valor máximo obtenido de downforce es de 41,66 N (4,25 kg·f).

- **FUERZA CONTRARIA A LA CURVA**

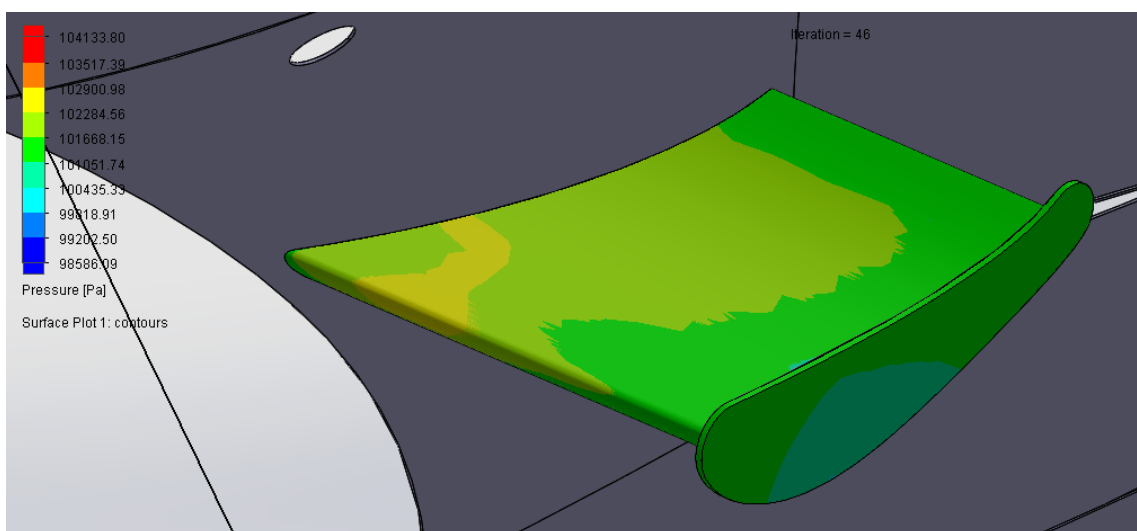
A 40° , esta fuerza comienza a ser demasiado alta para los intereses del comportamiento de la moto. Cabe destacar los valores obtenidos a velocidades medias y altas, cuando la moto comienza a soportar una fuerza centrífuga considerable, y es que a esa fuerza se debería sumar la obtenida con las simulaciones. A velocidades como 250 km/h, el valor obtenido asciende a 34,39 N (3,51 kg·f) con la suma de ambos alerones y, como se ha comentado anteriormente, se considera demasiado alto comparado con el valor obtenido de downforce.



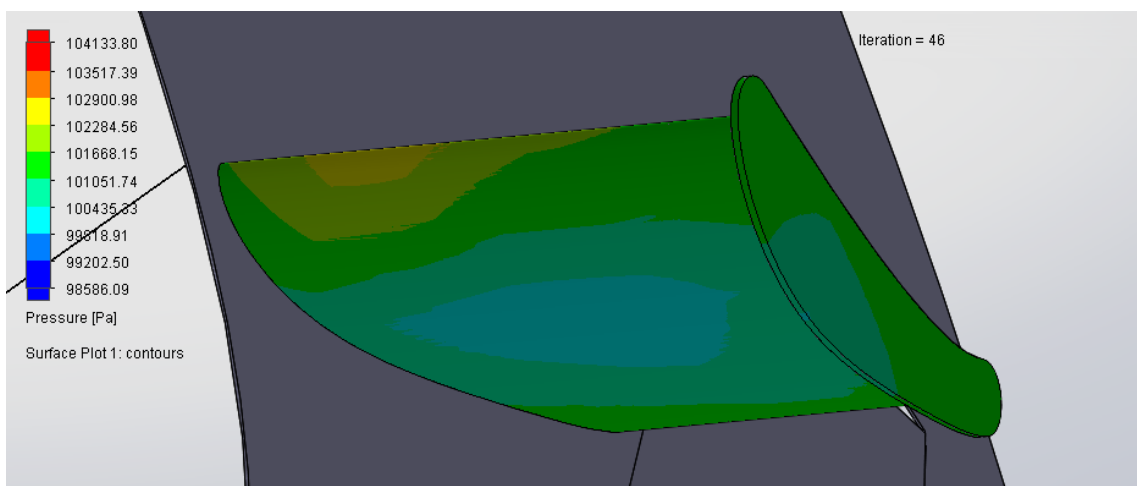
Il·lustració 91: Vista frontal de la moto a 40° con el sistema de alerones fijos



Il·lustració 92: Cut plot del alerón fijo a 40° a 250 km/h



Il·lustració 93: Surface plot del aleró fijo a 40° a 250 km/h (parte superior)



Il·lustració 94: Surface plot del aleró fijo a 40° a 250 km/h (parte inferior)

9.1.6. MOTO_F_50°

RESULTADOS SIMULACIONES EN CURVA A 50 GRADOS (ALERÓN INTERIOR)

27,77 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE INT	[N]	-2,403936507
	DARG INT	[N]	-0,928595306
	F.EXT.CURVA INT	[N]	-2,912720183
	LIFT COEFFICIENT INT		-0,290170543
	DRAG COEFFICIENT INT		-0,112024707

41,66 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE INT	[N]	-5,535515071
	DARG INT	[N]	-2,206353469
	F.EXT.CURVA INT	[N]	-6,738420215
	LIFT COEFFICIENT INT		-0,296894119
	DRAG COEFFICIENT INT		-0,118298619

55,56 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE INT	[N]	-9,923794302
	DARG INT	[N]	-3,909658949
	F.EXT.CURVA INT	[N]	-12,03328481
	LIFT COEFFICIENT INT		-0,299358584
	DRAG COEFFICIENT INT		-0,117914144

69,64 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE INT	[N]	-15,51838777
	DARG INT	[N]	-6,099624561
	F.EXT.CURVA INT	[N]	-18,82074133
	LIFT COEFFICIENT INT		-0,299543039
	DRAG COEFFICIENT INT		-0,117736395

83,33 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE INT	[N]	-22,30707014
	DARG INT	[N]	-8,824470445
	F.EXT.CURVA INT	[N]	-27,0584306
	LIFT COEFFICIENT INT		-0,299034887
	DRAG COEFFICIENT INT		-0,118295433

DOWNFORCE (Y)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-2,404
41,66	-5,536
55,56	-9,924
69,64	-15,518
83,33	-22,307

DRAG (X)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-0,929
41,66	-2,206
55,56	-3,910
69,64	-6,100
83,33	-8,824

FUERZA CONTRARIA A LA CURVA (Z)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-2,913
41,66	-6,738
55,56	-12,033
69,64	-18,821
83,33	-27,058

Tabla 37: Resultados del alerón interior en el sistema de alerones fijos a 50°

RESULTADOS SIMULACIONES EN CURVA A 50 GRADOS (ALERÓN EXTERIOR)

27,77 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE EXT	[N]	-2,753198981
	DARG EXT	[N]	-0,675912139
	F.EXT.CURVA EXT	[N]	-3,213146007
	LIFT COEFFICIENT EXT		-0,332328762
	DRAG COEFFICIENT EXT		-0,08154129

41,66 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE EXT	[N]	-6,353528554
	DARG EXT	[N]	-1,568614843
	F.EXT.CURVA EXT	[N]	-7,403461569
	LIFT COEFFICIENT EXT		-0,340767795
	DRAG COEFFICIENT EXT		-0,084104824

55,56 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE EXT	[N]	-11,80707294
	DARG EXT	[N]	-2,914597199
	F.EXT.CURVA EXT	[N]	-13,77598558
	LIFT COEFFICIENT EXT		-0,356169075
	DRAG COEFFICIENT EXT		-0,08790338

69,64 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE EXT	[N]	-18,65461386
	DARG EXT	[N]	-4,681605798
	F.EXT.CURVA EXT	[N]	-21,76615396
	LIFT COEFFICIENT EXT		-0,360079914
	DRAG COEFFICIENT EXT		-0,090365462

83,33 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	DOWNFORCE EXT	[N]	-27,08675287
	DARG EXT	[N]	-6,85991621
	F.EXT.CURVA EXT	[N]	-31,50509431
	LIFT COEFFICIENT EXT		-0,363108379
	DRAG COEFFICIENT EXT		-0,091959825

DOWNFORCE (Y)

Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-2,753
41,66	-6,354
55,56	-11,807
69,64	-18,655
83,33	-27,087

DRAG (X)

Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-0,676
41,66	-1,569
55,56	-2,915
69,64	-4,682
83,33	-6,860

FUERZA CONTRARIA A LA CURVA (Z)

Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-3,213
41,66	-7,403
55,56	-13,776
69,64	-21,766
83,33	-31,505

Tabla 38: Resultados del alerón exterior en el sistema de alerones fijos a 50°

- DRAG**

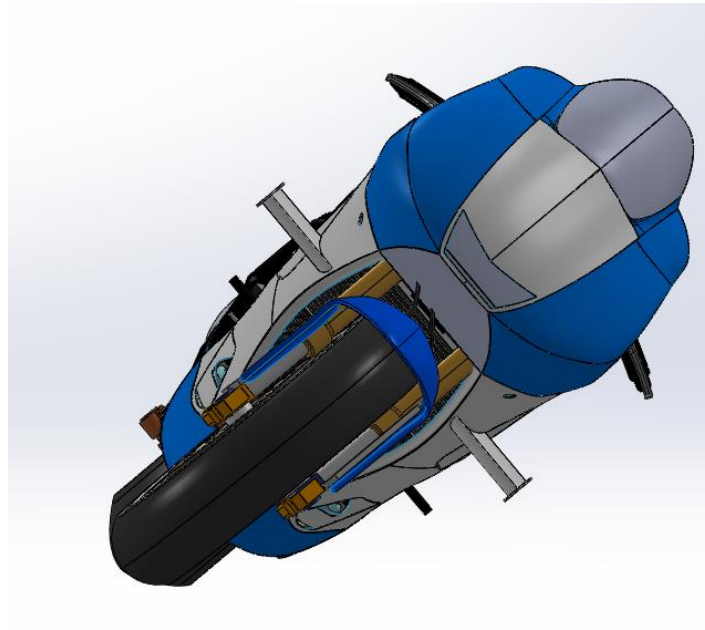
Considerando un valor máximo de velocidad en esta posición de 200 km/h, el resultado obtenido es de 3,91 N en el alerón interior y de 2,92 N en el alerón exterior. Sumando ambos, se adquieren 6,83 N (0,696 kg·f) de resistencia al avance por lo que se observa que no supondrá un gran problema para el funcionamiento de la moto.

- **DOWNFORCE**

Llegados a este punto, el valor de downforce se ve perjudicado de manera muy importante ya que es superado por el valor obtenido de la fuerza contraria a la curva. Como se comentó en el apartado de los 40 grados con el Teorema de Pitágoras, el hecho de superar los 45 grados supone que la fuerza de sustentación negativa sea inferior ya a la fuerza contraria a la curva, hecho que supone un gran problema ya que se pierde por completo el objetivo que se le da a los alerones y se convierten en un enemigo para el comportamiento de la moto en el paso por curva. Si se analizan los números, los valores obtenidos son bastantes limitados ya que al considerar una velocidad máxima a esta inclinación de 200 km/h, los alerones únicamente provocan un downforce de 9,92 N en el alerón interior, de 11,81 N en el exterior y un total de 21,73 N sumando ambos.

- **FUERZA CONTRARIA A LA CURVA**

El hecho de tener la moto en esta posición genera el valor máximo de fuerza contraria a la curva analizado en las simulaciones. Es el primer momento en el cual esta fuerza supera los valores de downforce y, por lo tanto, el alerón deja de trabajar con la función que debería. Examinando los resultados, y considerando un valor de velocidad máxima a estudiar de 200 km/h, se obtienen 12,03 N en el alerón interior y 13,78N en el exterior y un total de 25,81 N (2,63 kg·f).



Il·lustració 95: Vista frontal de la moto a 50° con el sistema de alerones fijos



Il·lustració 96: Cut plot del alerón fijo a 50° a 200 km/h

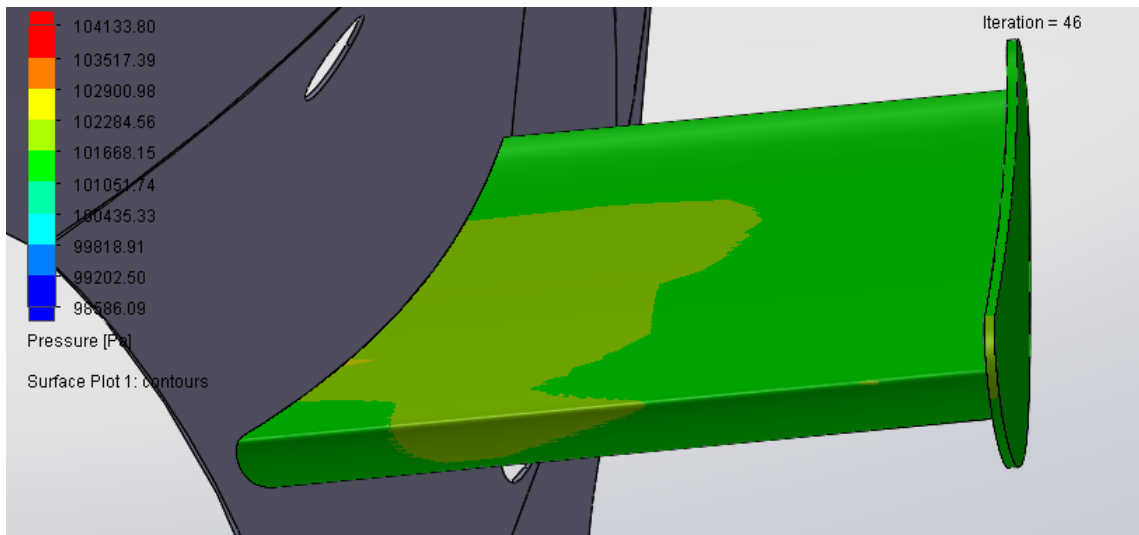


Ilustración 97: Surface plot del alerón fijo a 50° a 200 km/h (parte superior)

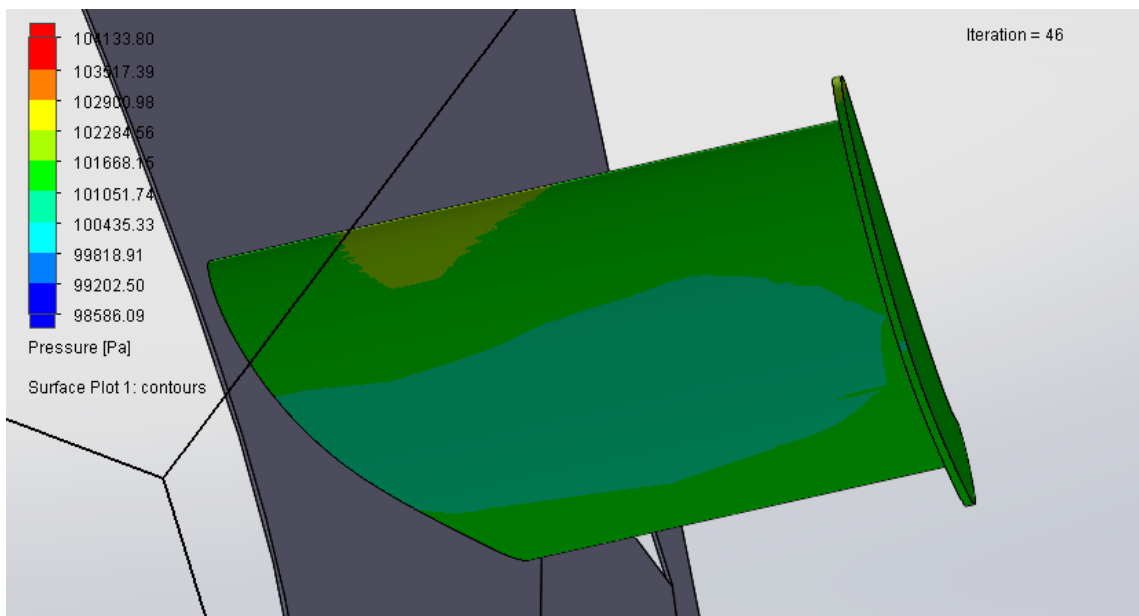
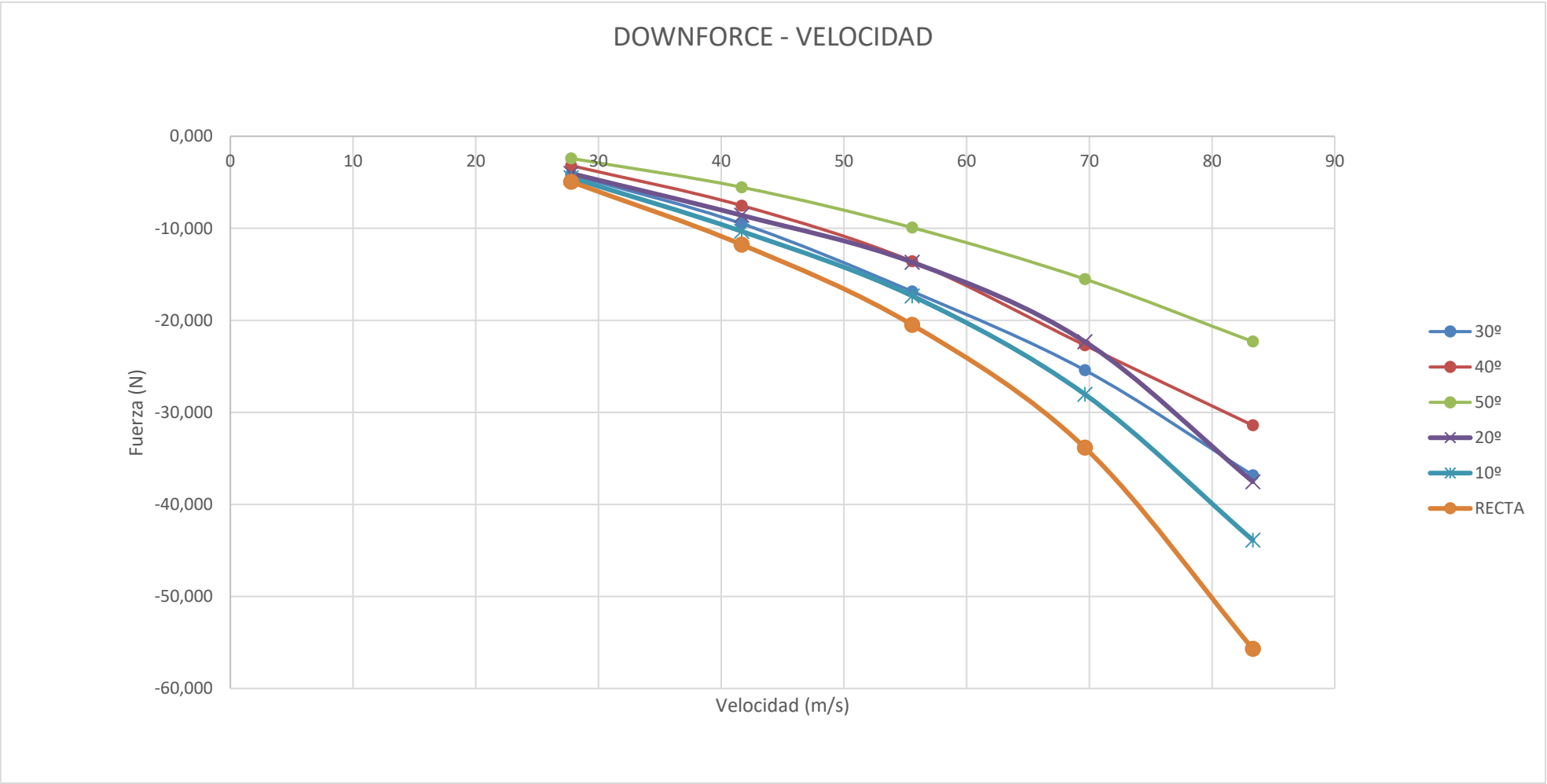


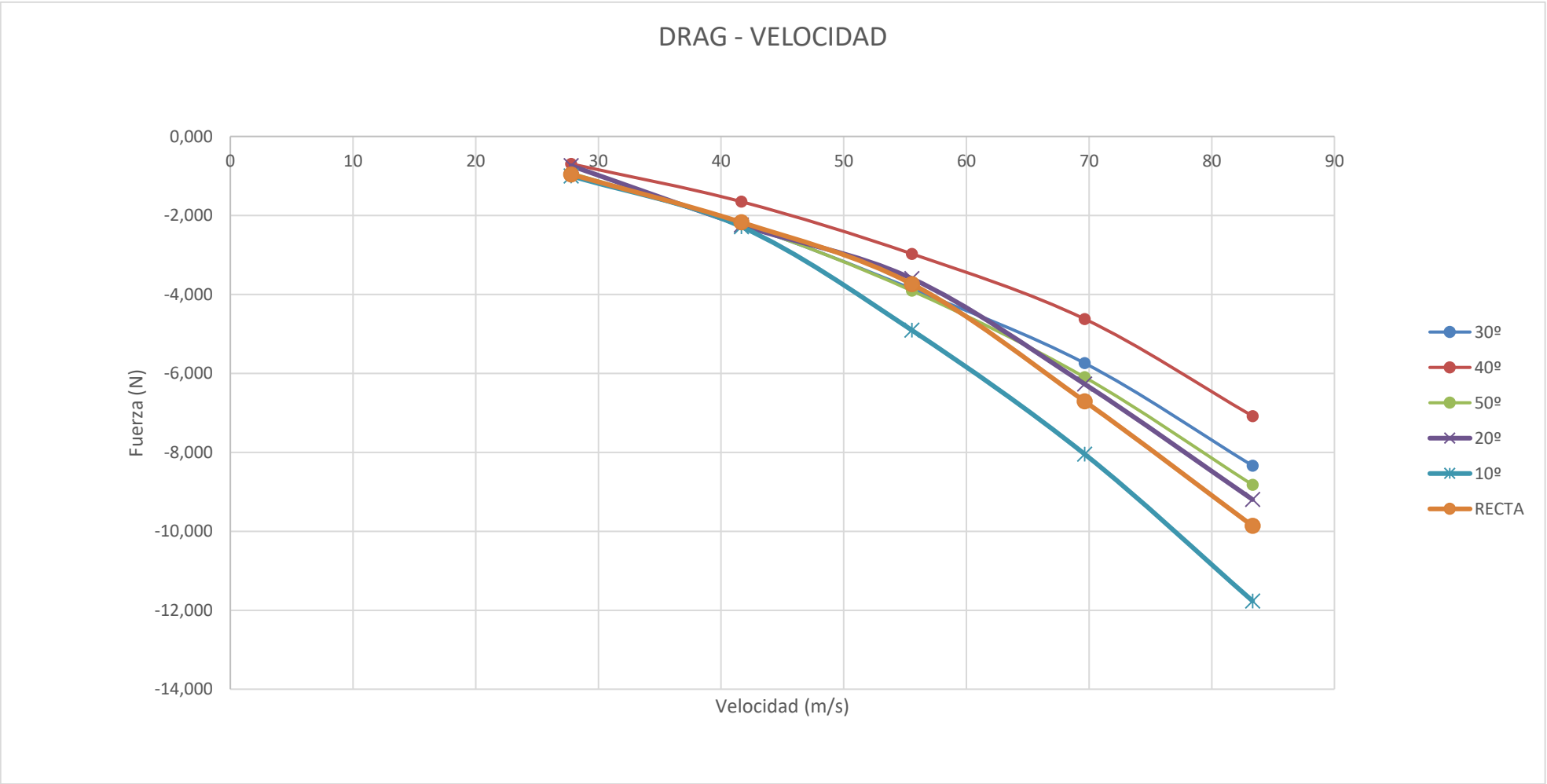
Ilustración 98: Surface plot del alerón fijo a 50° a 200 km/h (parte inferior)

A continuación, se ha realizado una serie de gráficos de los distintos resultados analizados en los apartados anteriores que se han clasificado por velocidades e inclinaciones. De esta manera, se podrá ver de una manera más clara el comportamiento de los alerones a medida que cambian los parámetros a los que están sometidos.

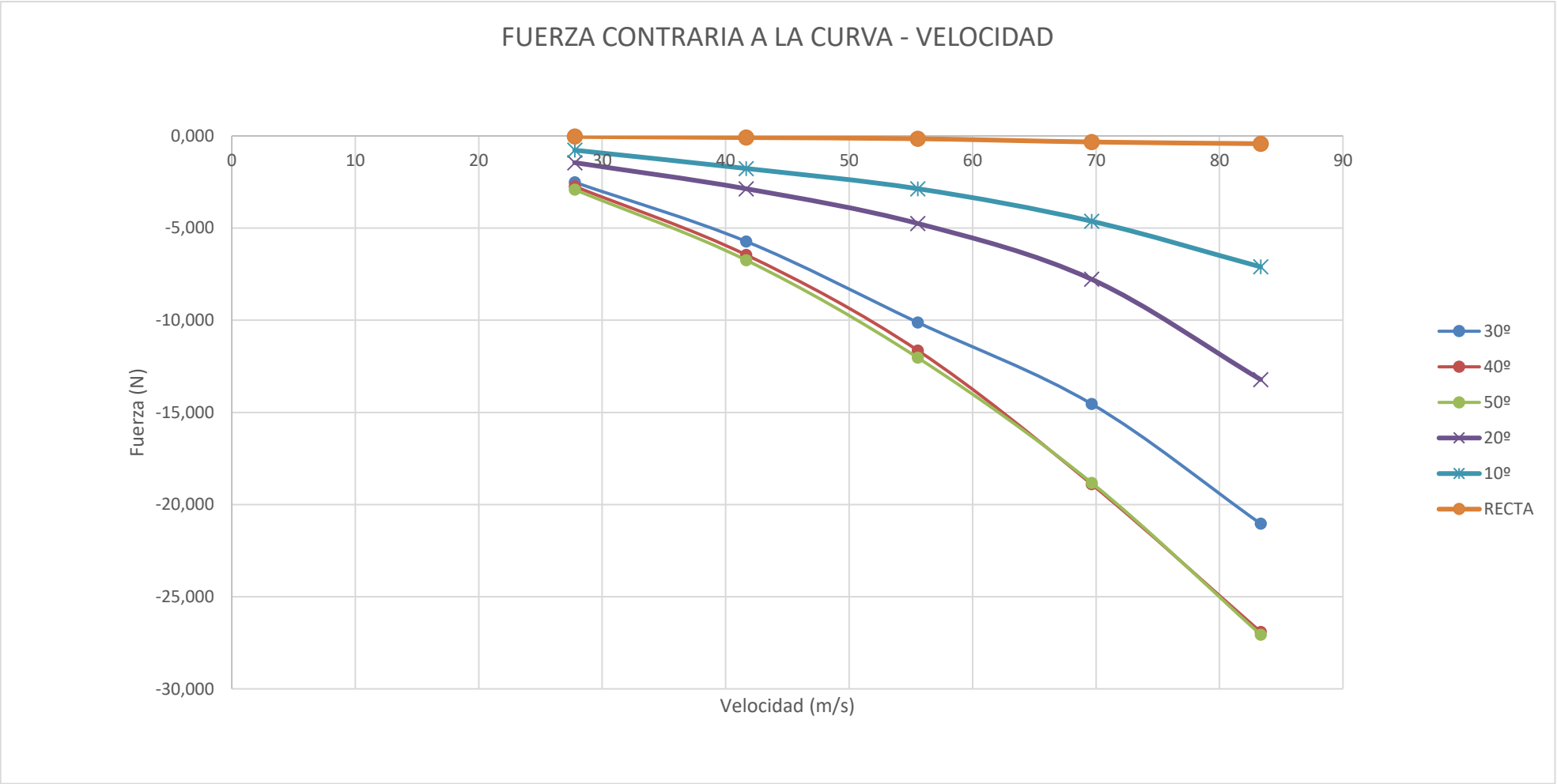
9.1.7. GRÁFICO DOWNFORCE - VELOCIDAD EN EL ALERÓN INTERIOR



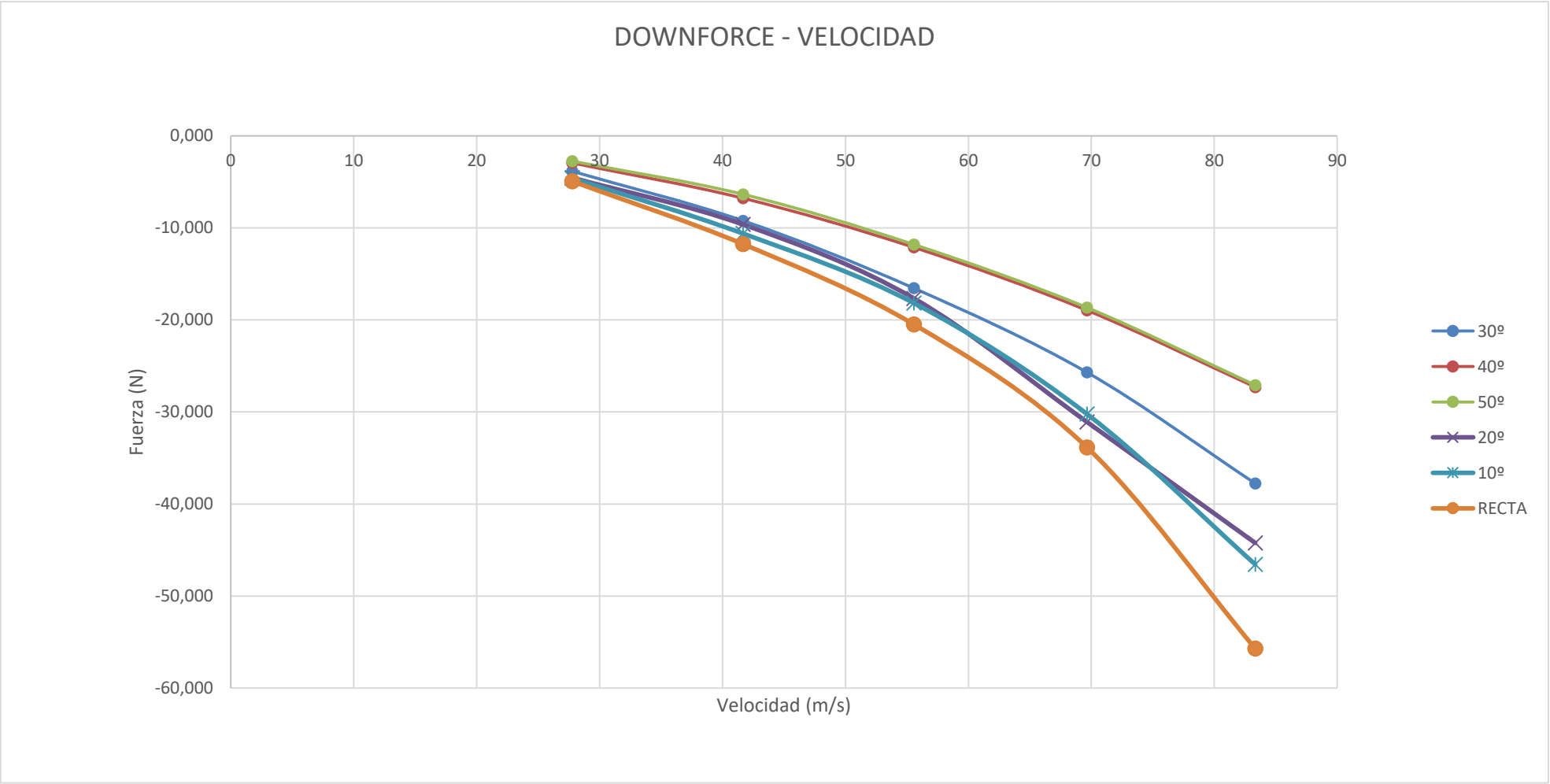
9.1.8. GRÁFICO DRAG - VELOCIDAD ALERÓN INTERIOR



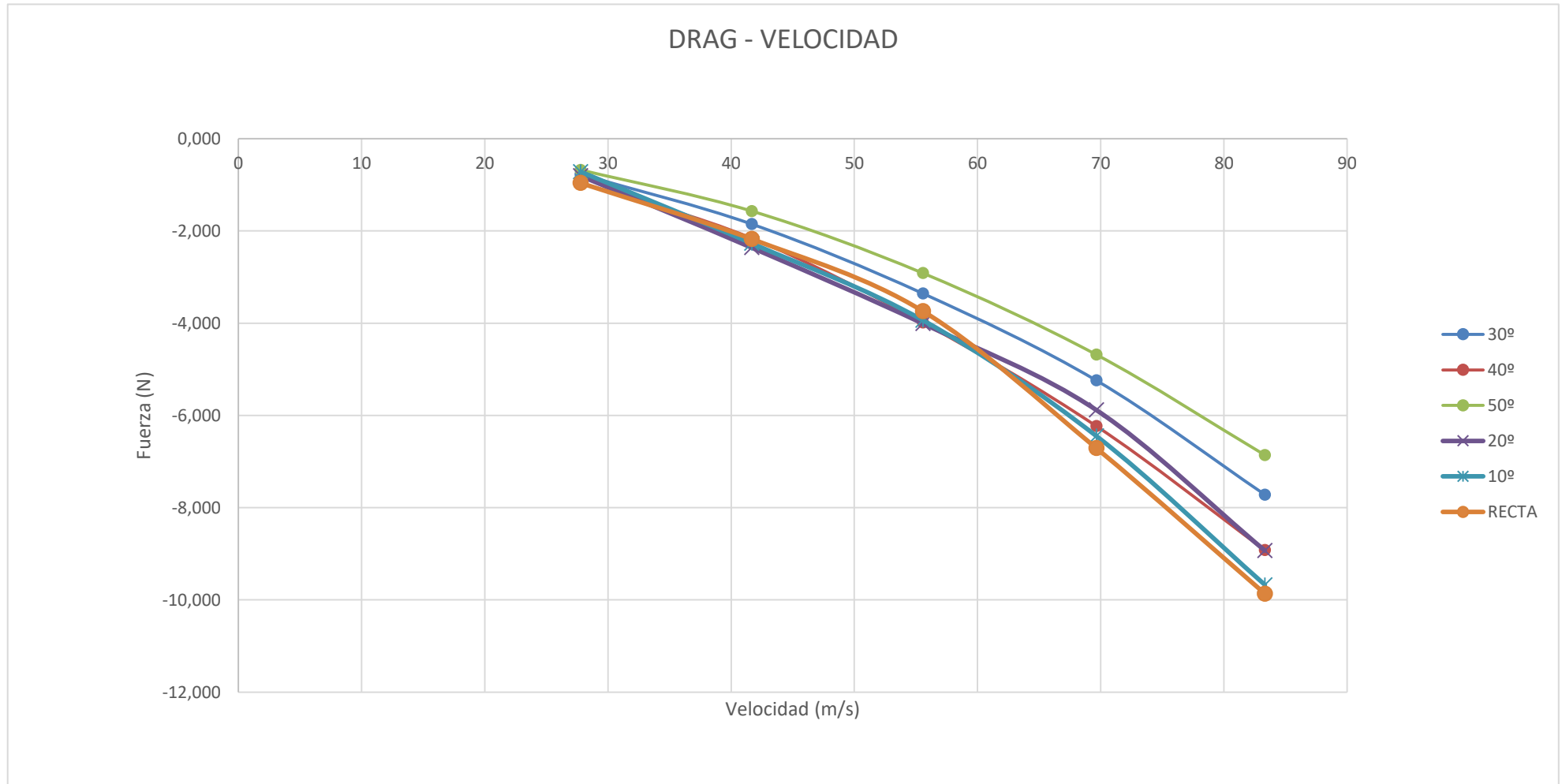
9.1.9. GRÁFICO FCC - VELOCIDAD ALERÓN INTERIOR



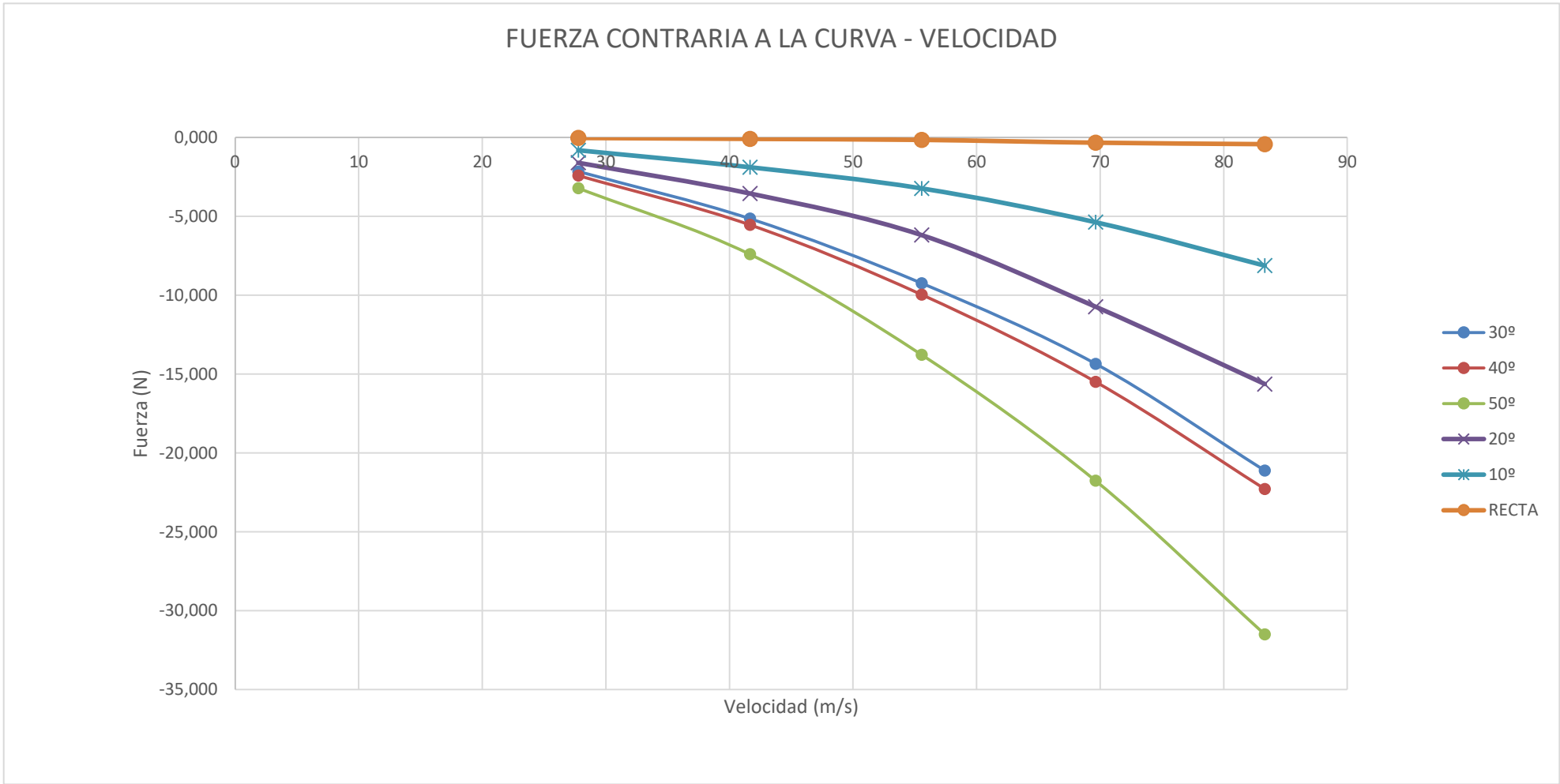
9.1.10. GRÁFICO DOWNFORCE - VELOCIDAD ALERÓN EXTERIOR



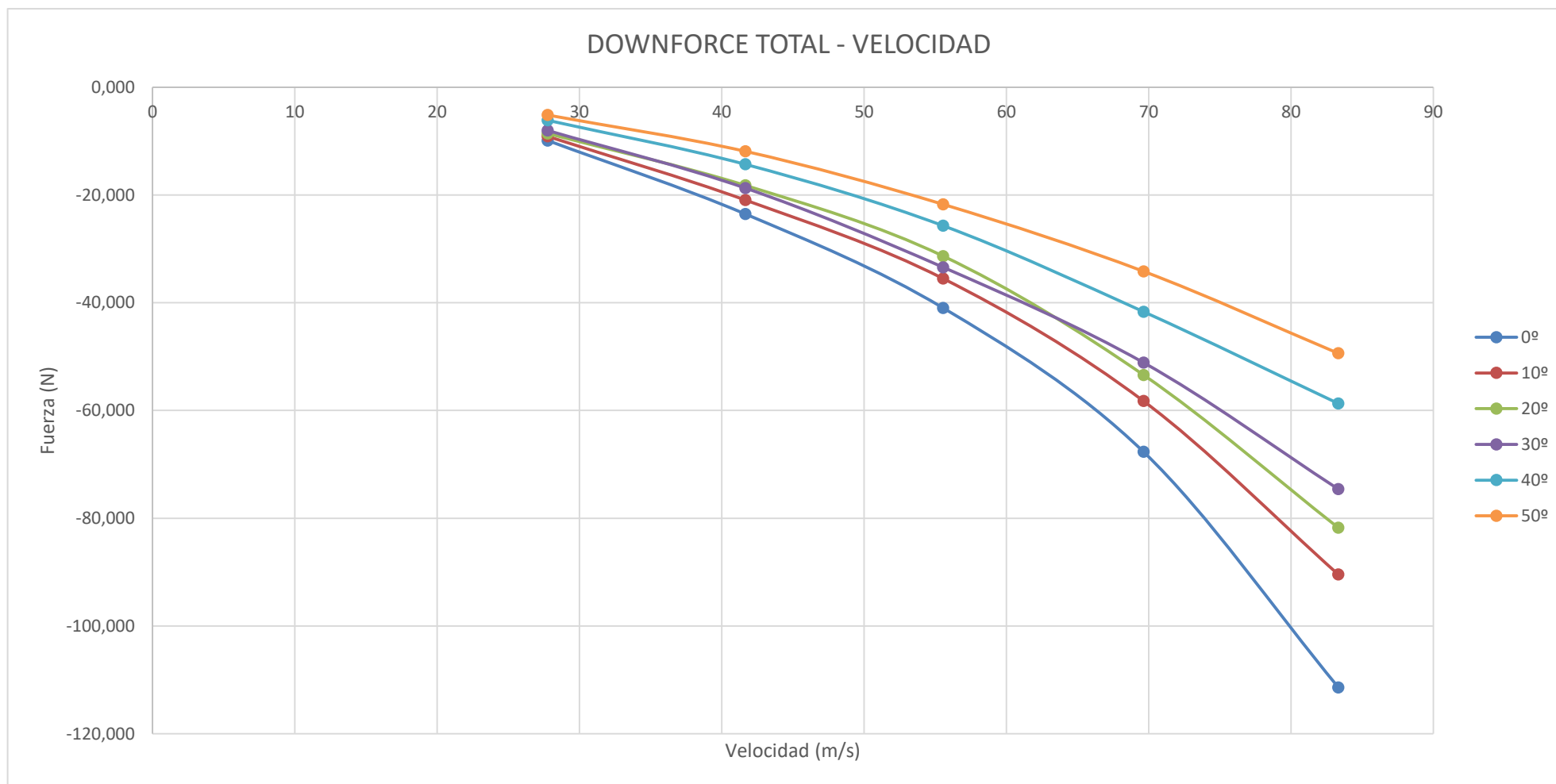
9.1.11. GRÁFICO DRAG - VELOCIDAD ALERÓN EXTERIOR



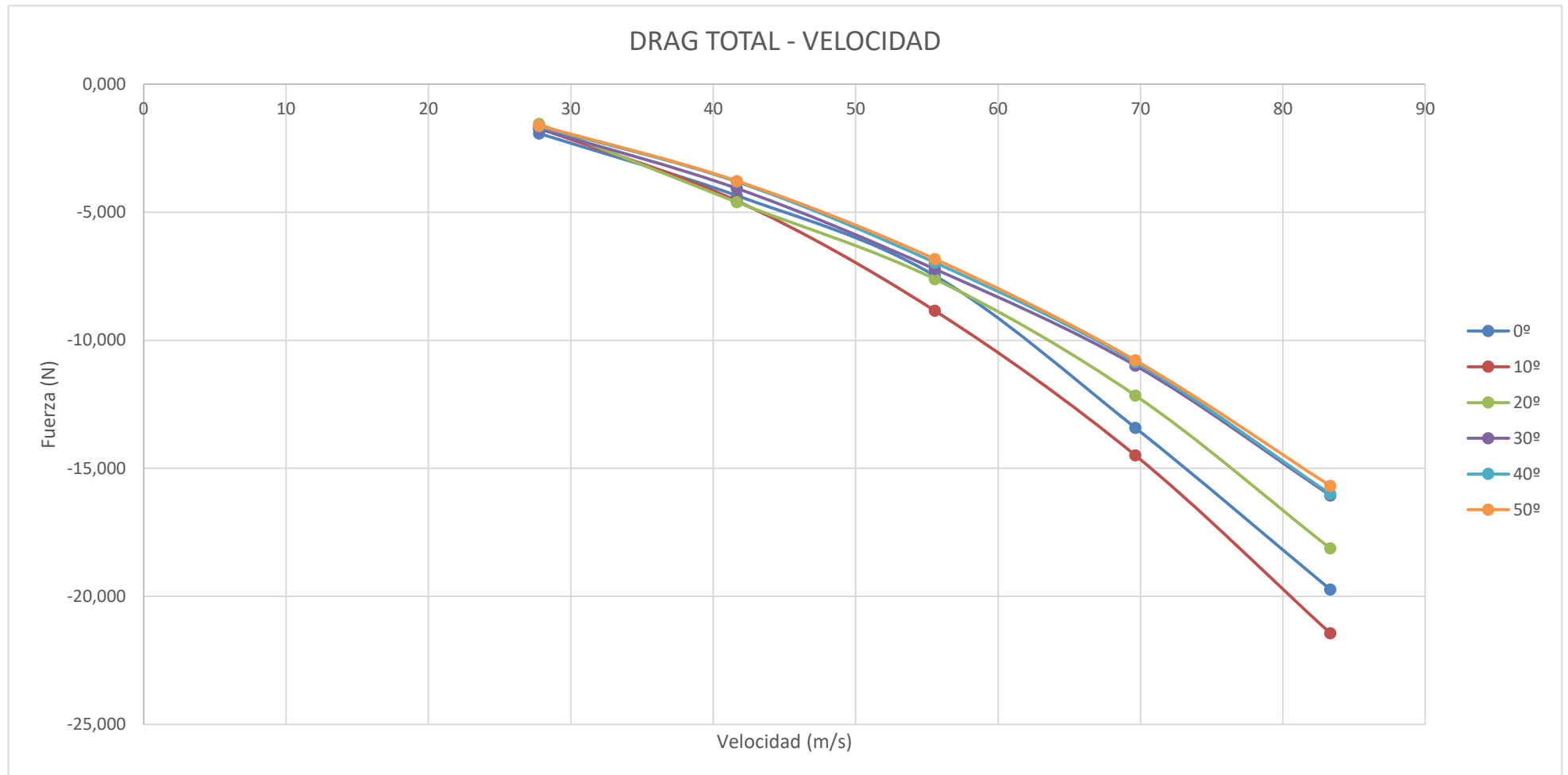
9.1.12. GRÁFICO FCC - VELOCIDAD ALERÓN EXTERIOR



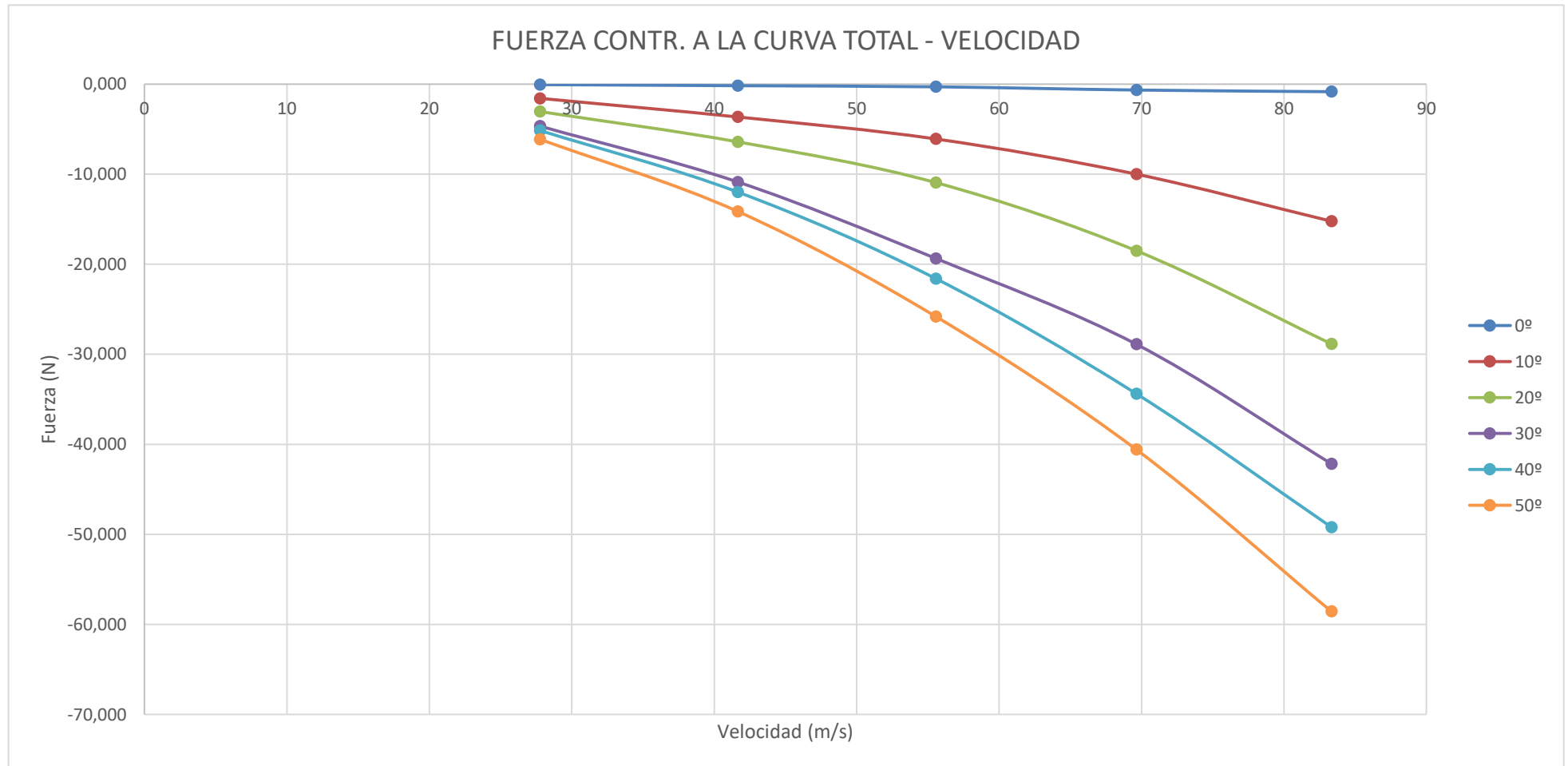
9.1.13. GRÁFICO DOWNFORCE TOTAL - VELOCIDAD SISTEMA DE ALERONES FIJOS



9.1.14. GRÁFICO DRAG TOTAL - VELOCIDAD SISTEMA DE ALERONES FIJOS



9.1.15. GRÁFICO FCC TOTAL - VELOCIDAD SISTEMA DE ALERONES FIJOS



9.1.16. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después de analizar los resultados obtenidos y mostrados anteriormente se puede estar satisfecho de las simulaciones realizadas ya que todos los valores obtenidos son satisfactorios y cumplen con lo esperado.

Sí que es cierto que los resultados de *downforce* con la moto sin inclinación son menores a los estudiados en el estudio en dos dimensiones, y se cree que este hecho es debido a que el alerón ha visto modificado su volumen para su correcto acople al carenado original de la moto y, además, otro aspecto que puede haber menguado estos resultados, es el hecho de que el alerón convive con otras geometrías, como son los carenados, que provocan que el aire no llegue de igual manera que como se supone en el primer estudio, donde el aire llega de manera frontal y sin perturbaciones previas.

En cuanto al comportamiento de cada uno de los alerones colocados en la moto, se puede afirmar que el que trabaja con mayor rendimiento es el que está localizado en el lado exterior de la curva a realizar ya que, de manera mayoritaria, ofrece un mayor *downforce* y menor *drag*. Pese a ello, el alerón exterior también tiene un aspecto negativo y es que produce una mayor fuerza contraria a la curva, hecho que provoca una mayor inestabilidad en la moto.

Una vez sumados los valores de ambos alerones, y de obtener los tres últimos gráficos anteriores, se puede afirmar que los tres siguen una tendencia correcta y lógica ya que:

- El ***downforce*** aumenta a medida que aumenta la velocidad pero se ve mermado cada vez que se aumenta el ángulo de inclinación de la moto ya que, cada vez que esto ocurre, se traspasa parte de esa fuerza a la componente horizontal.
- El ***drag*** va aumentando con la velocidad, produciéndose una mayor resistencia aerodinámica cuando la velocidad es mayor.
- La **fuerza contraria a la curva** mantiene un comportamiento de lo más lógico ya que cuando la moto se encuentra con un cierto ángulo de inclinación, el valor de ésta se mantiene diferente a cero y aumenta a medida que la moto gana velocidad pero, en el caso de tener la moto en posición vertical, esta fuerza

desaparece casi por completo manteniéndose con valor prácticamente cero independientemente de la velocidad a la que se encuentre la máquina.

Respecto a los valores numéricos, se muestra un resumen a continuación (los valores se muestran en valor absoluto):

FUERZA	0°		10°		20°		30°		40°		50°	
	MÍN	MÁX	MÍN	MÁX	MÍN	MÁX	MÍN	MÁX	MÍN	MÁX	MÍN	MÁX
DOWNFORCE	9,88	111,4	9,12	90,45	8,59	81,77	8,02	74,6	6,14	58,71	5,16	49,34
DRAG	1,92	19,73	1,71	21,44	1,55	18,13	1,74	16,06	1,65	16	1,61	15,68
F.C.C.	0,06	0,84	1,58	15,23	3,05	28,85	4,67	42,16	5,15	49,2	6,13	58,56

*Todos los valores que se muestran están en Newtons (N)

Tabla 39: Valores máximos de las tres fuerzas del sistema de alerones fijos según su inclinación

Para realizar una comprobación acerca de los resultados de *downforce* y fuerza contraria a la curva, se ha realizado un gráfico para ver que la tendencia de cada una de las fuerzas es la correcta a medida que varía la inclinación. Siguiendo la idea inicial de que la suma de los cuadrados de ambas fuerzas es igual al cuadrado de la fuerza resultante, se debe producir que, al someter el alerón a una inclinación de 45°, ambos módulos deben igualarse para cualquier velocidad estudiada.

$$F_{RESULTANTE} = \sqrt{DF^2 + FCC^2}$$

COMPARATIVA DOWNFORCE - FUERZA CONTRARIA A LA CURVA			
DOWNFORCE		FUERZA CONTR. A LA CURVA	
ÁNGULO DE INCLINACIÓN	FUERZA (N)	ÁNGULO DE INCLINACIÓN	FUERZA (N)
0	-40,97	0	-0,301
10	-35,511	10	-6,091
20	-31,338	20	-10,937
30	-33,413	30	-19,358
40	-25,702	40	-21,601
50	-21,731	50	-25,809

Tabla 40: Resultados de downforce y fcc a 200 km/h del alerón interior

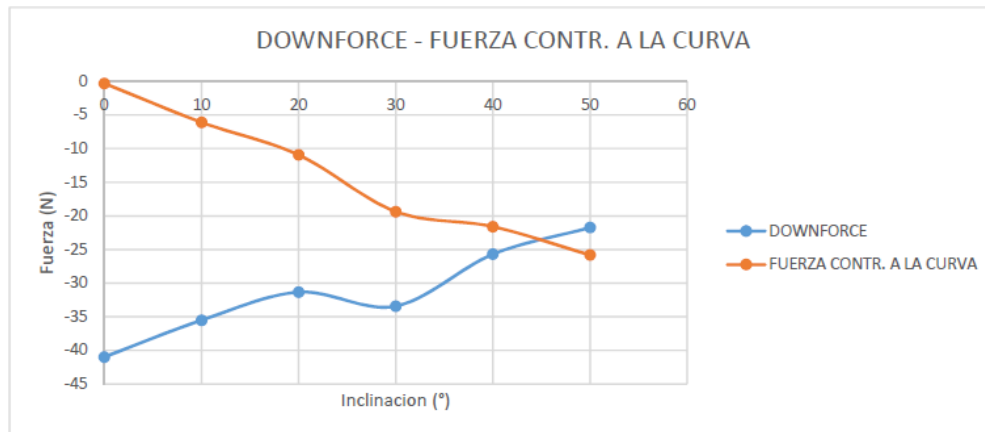


Tabla 41: Gráfico Downforce - Fuerza contraria a la curva del alerón interior

En efecto, después de realizar una comprobación a una velocidad de 200 km/h, se confirma que ambas fuerzas se igualan al llegar a un ángulo de 45°, como se ha especificado anteriormente. Por lo tanto se puede afirmar que las simulaciones de ambas fuerzas han estado bien realizadas y los valores obtenidos se deben considerar como correctos.

En el primer punto del *Anexo 1: Imágenes de las simulaciones de los alerones* se han expuesto diferentes capturas obtenidas con la opción *Cut plots* del *Flow Simulation*, que ayudan a entender y leer los resultados obtenidos ya que muestran de una manera gráfica el comportamiento del fluido a su paso por la región estudiada.

9.2. SIMULACIÓN DE LOS ALERONES MÓVILES

En este apartado se detallan las simulaciones, análisis y resultados obtenidos del estudio realizado al último y definitivo diseño. Como ya se ha comentado en varios puntos anteriores, este diseño tendrá de diferente al de alerones fijos que los mismos contra rotan con respecto al giro que produce la moto por lo que se mantendrán, en la mayor parte de las simulaciones en posición horizontal.

Debido a limitaciones de diseño especificadas en puntos anteriores, únicamente se ha tenido la posibilidad de mantener el alerón en posición horizontal hasta una inclinación de 35 grados respecto a la vertical, a partir de ese ángulo, el alerón fijará su posición y rotará conjuntamente con la moto. Este hecho provocará un aumento de la fuerza contraria a la curva en las posiciones de 40 y 50 grados de inclinación ya que en ellas el alerón estará inclinado 5 y 15 grados respectivamente.

Esta última serie de simulaciones se ha efectuado siguiendo las mismas pautas que en la anterior, es decir, se han planteado situaciones de seis inclinaciones distintas (de 0 a 50 grados) y cinco velocidades en cada inclinación (de 100 a 300 km/h).

En todas las simulaciones se han tenido en cuenta ambos alerones ya que ambos repercuten en el funcionamiento del sistema. El de menor tamaño, además, al estar fijado al carenado de la moto, rotará y provocará fuerzas contrarias a la curva desde el primer momento que se incline ésta.

9.2.1. MOTO_M_0°

RESULTADOS SIMULACIONES EN RECTA (ALERÓN MÓVIL INTERIOR)			
27,77 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,00374086
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-3,368542676
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-0,841923259
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,036839376
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-0,582980186
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,182412533
41,66 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,064233912
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-6,68001488
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-1,924285932
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,054533211
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-1,264905791
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,466996024
55,56 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,016152463
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-15,16614142
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-3,403140104
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,136208415
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-2,508768258
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,712488671
69,64 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,110548775
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-23,20446423
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-5,116237793
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,1346077
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-3,956078069
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,898836352
83,33 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,115095022
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-35,20327802
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-7,877192296
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,01200092
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-6,821680028
	FIJA DRAG INT	[N]	-1,13911326

DOWNFORCE (Y)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-3,952
41,66	-7,945
55,56	-17,675
69,64	-27,161
83,33	-42,025

DRAG (X)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-1,024
41,66	-2,391
55,56	-4,116
69,64	-6,015
83,33	-9,016

FUERZA CONTRARIA A LA CURVA (Z)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-0,041
41,66	-0,119
55,56	-0,152
69,64	-0,245
83,33	-0,127

Tabla 42: Resultados de los alerones en el sistema de alerones móviles a 0°

- **DRAG**

El drag que produce este sistema con esta situación planteada no se considera grande ya que, en el peor de los casos provoca una fuerza de 9 N por alerón, por lo tanto, de 18 N (1,83 kg·f) en total. Con la moto en esta posición, se encuentran velocidades a la que se aumenta y a las que se reduce el drag con respecto al sistema de alerones fijos, aunque en ninguna de esas velocidades la diferencia

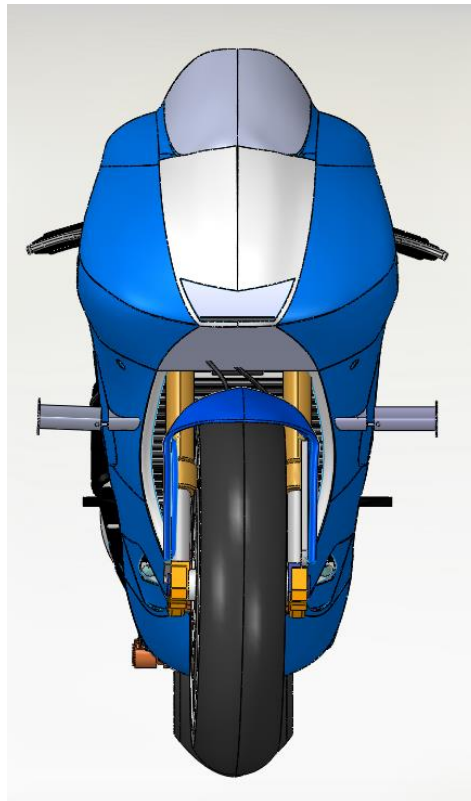
es de un tamaño considerable para afirmar una ventaja o desventaja considerable.

- **DOWNFORCE**

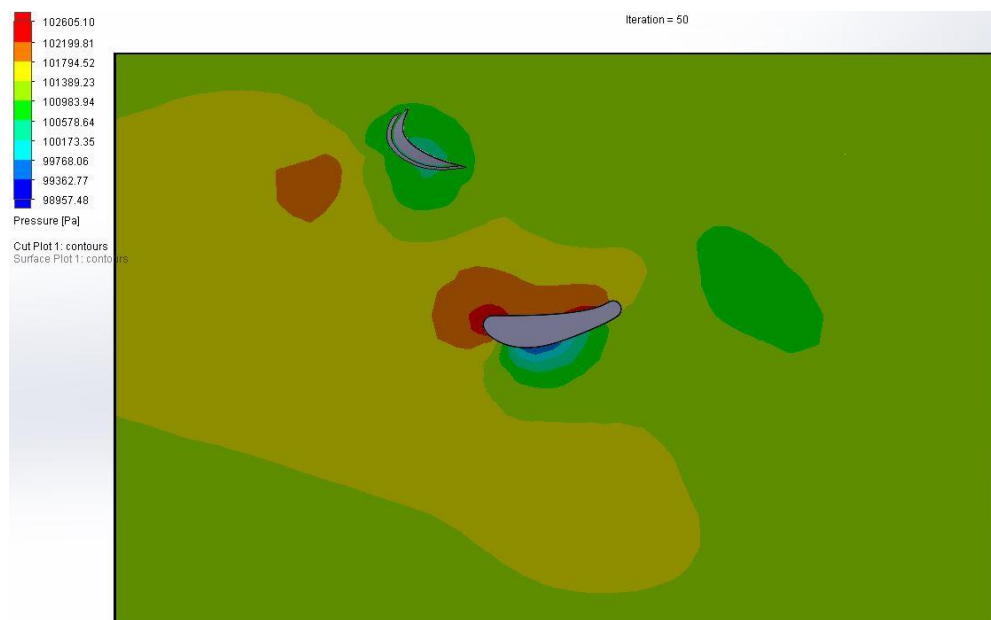
El downforce producido por este sistema con esta situación planteada marca un mínimo de 7,9 N a 100 km/h y un máximo de 84,05 N (8,57 kg·f) a 300 km/h (ambos valores son la suma de los alerones de ambos lados). Se pueden considerar buenos aun y aceptando que ha habido una pérdida con respecto al conjunto de alerones fijos.

- **FUERZA CONTRARIA A LA CURVA**

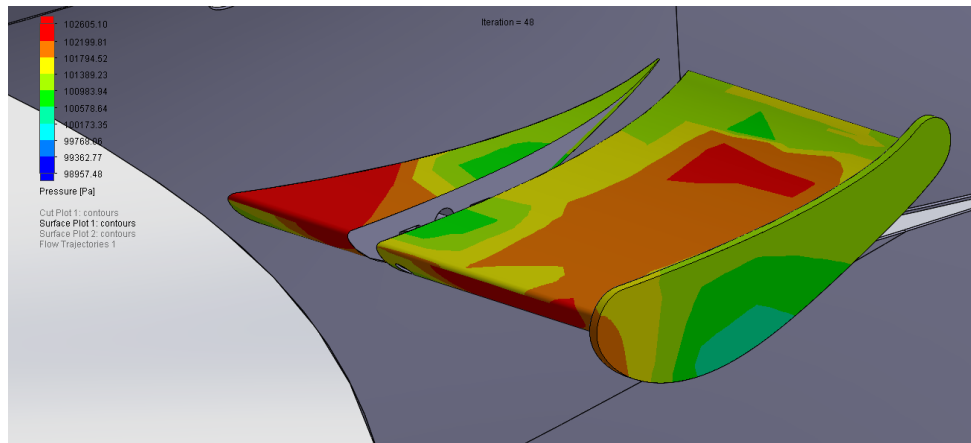
Con la moto recta, al igual que en el análisis de los alerones fijos, los valores obtenidos de esta fuerza son prácticamente nulos por lo que no se les dará importancia y se consideraran negligibles.



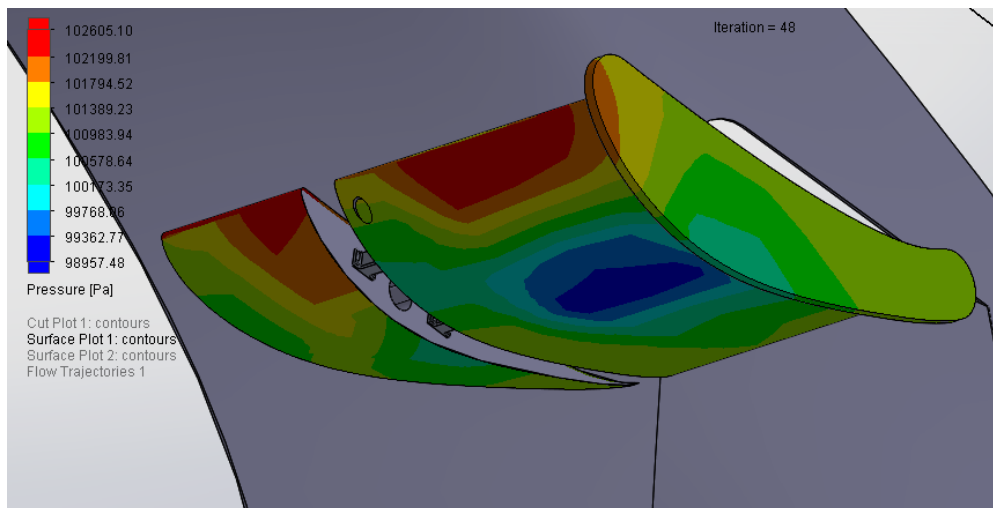
Il·lustració 99: Imagen frontal de la moto recta con el sistema de alerones móviles



Il·lustració 100: Cut plot del alerón móvil a 0° a 300 km/h



Il·lustració 101: Surface plot del aleró mòvil a 0° a 300 km/h (parte superior)



Il·lustració 102: Surface plot del aleró mòvil a 0° a 300 km/h (parte inferior)

9.2.2. MOTO_M_10°

RESULTADOS SIMULACIONES EN CURVA A 10 GRADOS (ALERÓN MÓVIL INTERIOR)

	Nombre	Unidades	Valor
27,77 m/s	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	0,080530903
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-3,176425374
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-0,987003148
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,107385707
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-0,488616774
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,142314392

	Nombre	Unidades	Valor
41,66 m/s	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	0,047022097
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-6,773790459
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-2,423549262
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,213503703
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-0,992490429
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,279815292

	Nombre	Unidades	Valor
55,56 m/s	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	0,117051098
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-12,89498941
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-4,421238896
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,445112511
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-1,948578332
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,476117091

	Nombre	Unidades	Valor
69,64 m/s	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	0,326651483
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-20,32947195
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-6,425385451
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,668920239
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-3,215897355
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,797324702

	Nombre	Unidades	Valor
83,33 m/s	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	0,135748323
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-29,90084378
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-9,278874762
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-1,376337827
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-5,072514276
	FIJA DRAG INT	[N]	-1,316809569

DOWNFORCE (Y)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-3,665
41,66	-7,766
55,56	-14,844
69,64	-23,545
83,33	-34,973

DRAG (X)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-1,129
41,66	-2,703
55,56	-4,897
69,64	-7,223
83,33	-10,596

FUERZA CONTRARIA A LA CURVA (Z)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-0,027
41,66	-0,166
55,56	-0,328
69,64	-0,342
83,33	-1,241

Tabla 43: Resultados del alerón interior en el sistema de alerones móviles a 10°

RESULTADOS SIMULACIONES EN CURVA A 10 GRADOS (ALERÓN MÓVIL EXTERIOR)

27,77 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,081510639
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-2,509231778
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-0,851658707
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,076359696
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-0,593862041
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,094640798

41,66 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,031741897
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-5,533641403
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-3,016417336
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,160341111
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-1,264461469
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,45717457

55,56 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,054382861
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-10,04285402
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-5,456317171
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,304270443
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-2,301235236
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,806027602

69,64 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,055056985
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-17,36946466
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-5,734955129
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,507768469
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-4,028584543
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,624799895

83,33 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,072566453
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-24,49601236
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-12,45676795
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,70517608
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-5,428305614
	FIJA DRAG INT	[N]	-1,891911183

DOWNFORCE (Y)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-3,103
41,66	-6,798
55,56	-12,344
69,64	-21,398
83,33	-29,924

DRAG (X)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-0,946
41,66	-3,474
55,56	-6,262
69,64	-6,360
83,33	-14,349

FUERZA CONTRARIA A LA CURVA (Z)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-0,158
41,66	-0,192
55,56	-0,359
69,64	-0,563
83,33	-0,778

Tabla 44: Resultados del alerón exterior en el sistema de alerones móviles a 10°

- DRAG**

Los valores de resistencia al avance obtenidos con esta situación se deben considerar algo elevados a velocidades altas ya que, con la suma de ambos, se obtiene un valor máximo de 24,95 N (2,54 kg·f). A velocidades algo menores, el valor no se considera tan alto y sigue manteniendo valores bastante bajos que se consideran aceptables.

- **DOWNFORCE**

Los valores obtenidos en este caso son algo menores que los anteriores en todo el rango de velocidades estudiado, la diferencia máxima se encuentra en el valor máximo de velocidad donde se produce una caída de 20 N aproximadamente.

Analizando más a fondo estos datos, se obtienen valores mínimos de 6,77 N y máximos de 64,9 N (6,62 kg·f).

- **FUERZA CONTRARIA A LA CURVA**

Los resultados siguen siendo prácticamente nulos en todo el rango de velocidades produciéndose un máximo de 2,02 N (suma de alerones de ambos lados) a 300 km/h, seguramente producido por el alerón de menor tamaño, que como se ha dicho en varias ocasiones, no contra rota respecto al giro de la moto como si lo hace el alerón de mayor tamaño. Pese a superar la unidad, se siguen considerando valores negligibles de fuerza ya que, además de ser valores muy pequeños, se producen a la máxima velocidad y, a velocidades inferiores, no superan en ningún caso esa unidad.

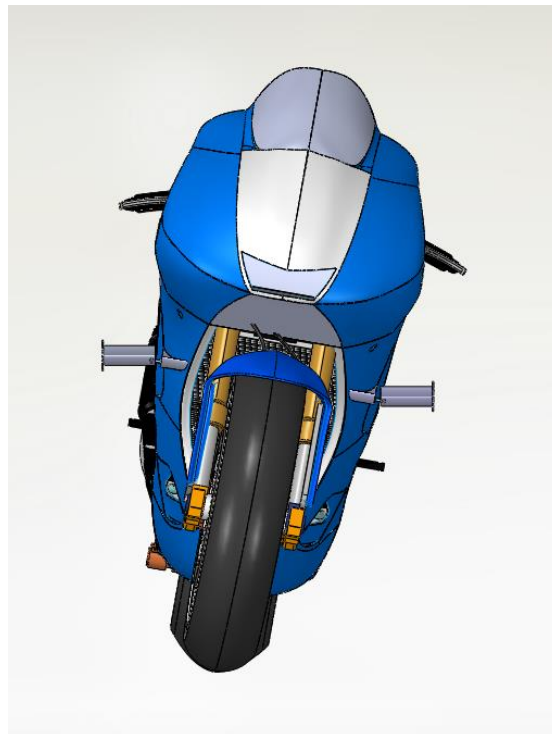


Ilustración 103: Imagen frontal de la moto a 10° con el sistema de alerones móviles

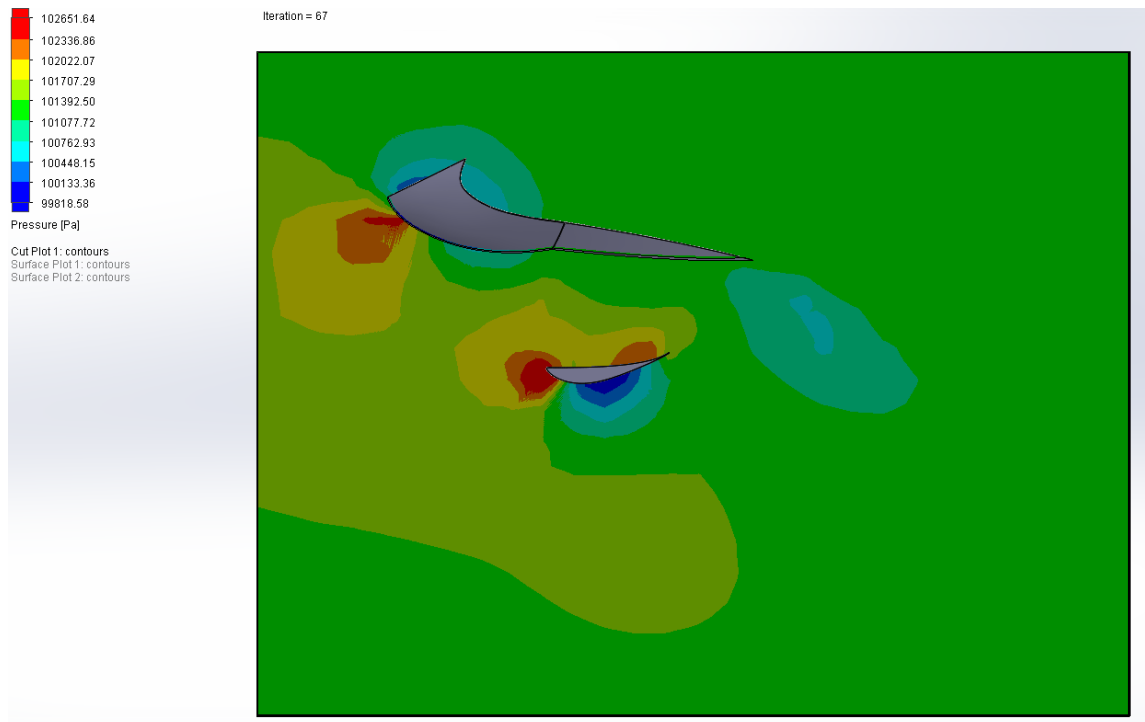


Ilustración 104: Cut plot del alerón móvil a 10° a 300 km/h

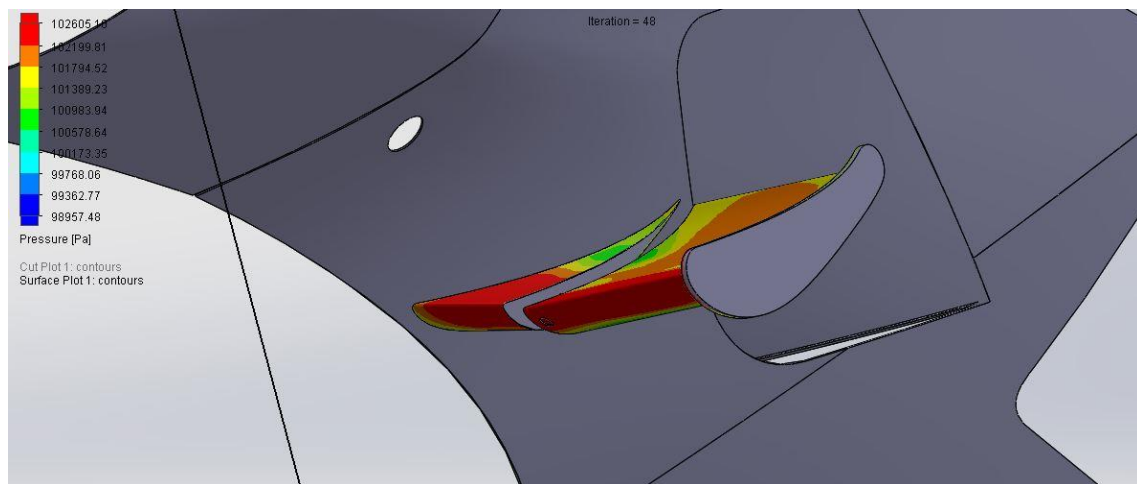
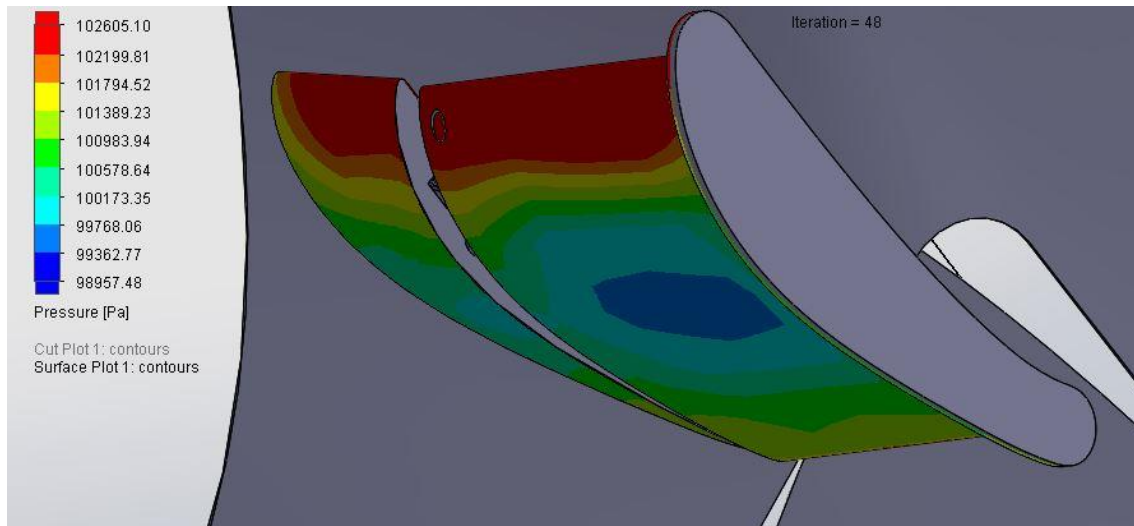


Ilustración 105: Surface plot del alerón móvil a 10° a 300 km/h (parte superior)



Il·lustració 106: Surface plot del aleró mòbil a 10° a 300 km/h (parte inferior)

9.2.3. MOTO_M_20°

RESULTADOS SIMULACIONES EN CURVA A 20 GRADOS (ALERÓN MÓVIL INTERIOR)

27,77 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	0,037520378
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-3,971561866
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-0,6118904
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,37737187
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-0,799531475
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,041050115

41,66 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,167941252
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-5,276114195
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-1,798710323
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,411042614
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-1,250043228
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,326067476

55,56 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	0,216482421
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-12,59995442
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-2,432037566
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,788407262
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-2,32441247
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,206352705

69,64 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,44763127
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-15,98544518
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-5,21580296
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-1,265873591
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-3,804310691
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,987306662

83,33 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	0,463786996
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-28,13301436
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-5,495177236
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-2,07103329
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-5,049694979
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,321661345

DOWNFORCE (Y)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-4,771
41,66	-6,526
55,56	-14,924
69,64	-19,790
83,33	-33,183

DRAG (X)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-0,653
41,66	-2,125
55,56	-2,638
69,64	-6,203
83,33	-5,817

FUERZA CONTRARIA A LA CURVA (Z)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-0,340
41,66	-0,579
55,56	-0,572
69,64	-1,714
83,33	-1,607

Tabla 45: Resultados del alerón interior en el sistema de alerones móviles a 20°

RESULTADOS SIMULACIONES EN CURVA A 20 GRADOS (ALERÓN MÓVIL EXTERIOR)

27,77 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,082505725
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-2,783404797
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-1,146321781
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,264294694
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-0,610721235
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,116673714

41,66 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,172013602
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-6,325787516
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-1,946292335
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,477410975
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-1,453651357
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,185327414

55,56 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,414492773
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-12,0154104
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-3,433723718
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,947100462
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-2,665598049
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,425921648

69,64 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,500070661
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-18,6515328
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-5,644901584
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-1,626502766
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-4,248767852
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,46722865

83,33 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,728345975
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-29,71937956
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-8,045362399
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-2,234406144
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-5,420983764
	FIJA DRAG INT	[N]	-1,837072811

DOWNFORCE (Y)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-3,394
41,66	-7,779
55,56	-14,681
69,64	-22,900
83,33	-35,140

DRAG (X)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-1,263
41,66	-2,132
55,56	-3,860
69,64	-6,112
83,33	-9,882

FUERZA CONTRARIA A LA CURVA (Z)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-0,347
41,66	-0,649
55,56	-1,362
69,64	-2,127
83,33	-2,963

Tabla 46: Resultados del alerón exterior en el sistema de alerones móviles a 20°

- DRAG**

La resistencia al avance se reduce, en este caso, respecto al análisis realizado a 10 grados de inclinación. Se producen valores que oscilan desde 1,916 N hasta un máximo de 15,7 N (1,6 kg·f) y eso significa que se pierden alrededor de 9 N que son perjudiciales para el comportamiento de la moto a la velocidad máxima de 300 km/h.

- **DOWNFORCE**

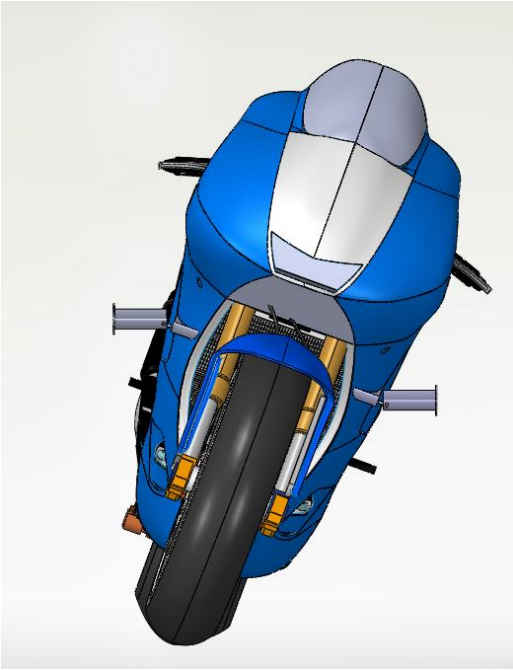
El downforce producido por el sistema en esta posición se mantiene, de media en el conjunto de las velocidades, con los mismos valores que con la moto a 10 grados. Apenas se aprecian variaciones que, en el mayor de los casos, son de 4 N a la máxima velocidad y en ese de ganancia.

Analizando los valores, se encuentran mínimos a 100 km/h de 8,16 N y máximos de 68,32 N (6,96 kg·f) a 300 km/h, considerados aceptables aunque no óptimos para la situación que se plantea.

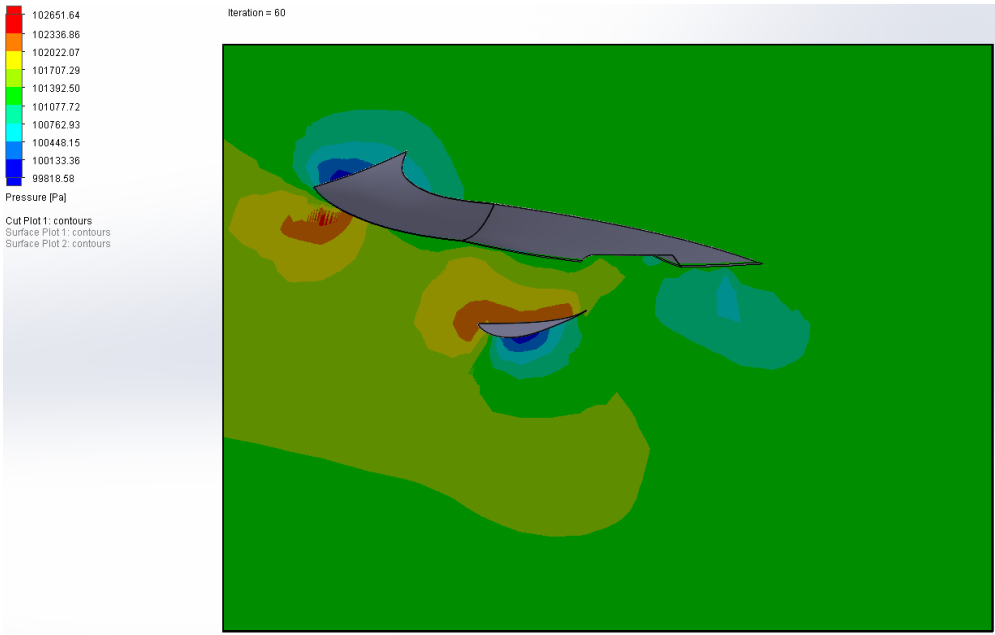
- **FUERZA CONTRARIA A LA CURVA**

Siguiendo con la tendencia positiva de esta fuerza, se puede afirmar que esta componente sigue sin ganar importancia con la moto en esta posición, aunque sí que es cierto que el alerón fijado a la moto comienza a ejercer fuerzas algo más elevadas respecto a la inclinación anterior.

Los valores mínimos se encuentran con una velocidad de 100 km/h, y siguen sin sobrepasar la unidad de fuerza, por otro lado, los máximos se sitúan en un valor de 4,57 N (0,47 kg·f). Lo cierto, es que a partir de esta inclinación ya se nota la pérdida que debía producirse de esta fuerza al mantener los alerones en el plano horizontal y es que, comparando los valores en la misma situación, se ve que se reduce en un 80% de media en el conjunto de las velocidades estudiadas, por lo que se puede afirmar que, de momento el sistema está funcionando correctamente.



Il·lustració 107: Imagen frontal de la moto a 20° con el sistema de alerones móviles



Il·lustració 108: Cut plot del alerón móvil a 20° a 300 km/h

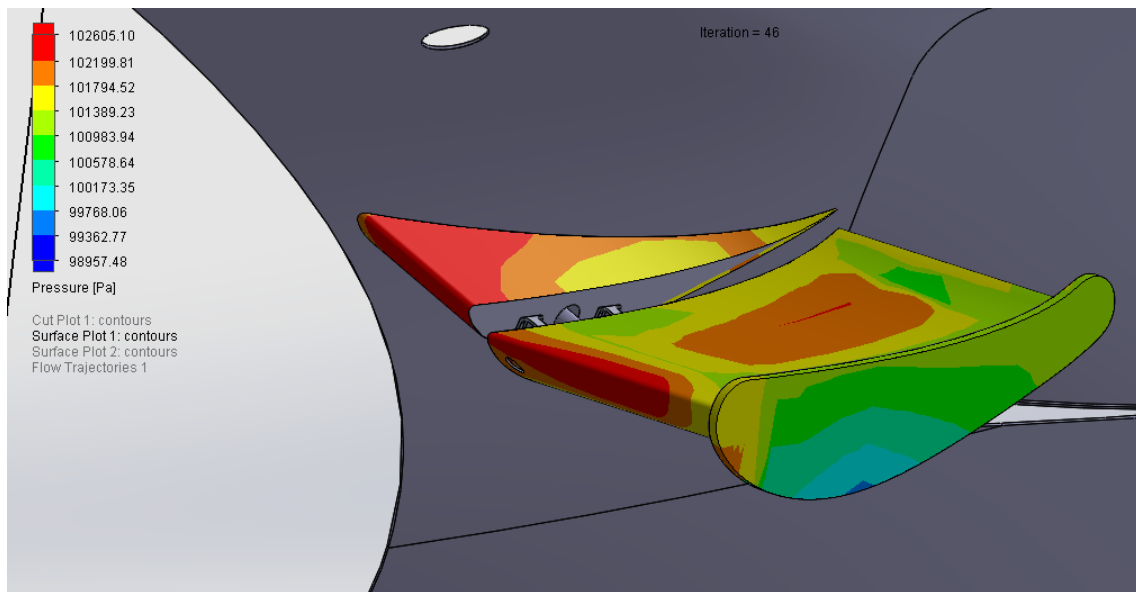


Ilustración 109: Surface plot del alerón móvil a 20° a 300 km/h (parte superior)

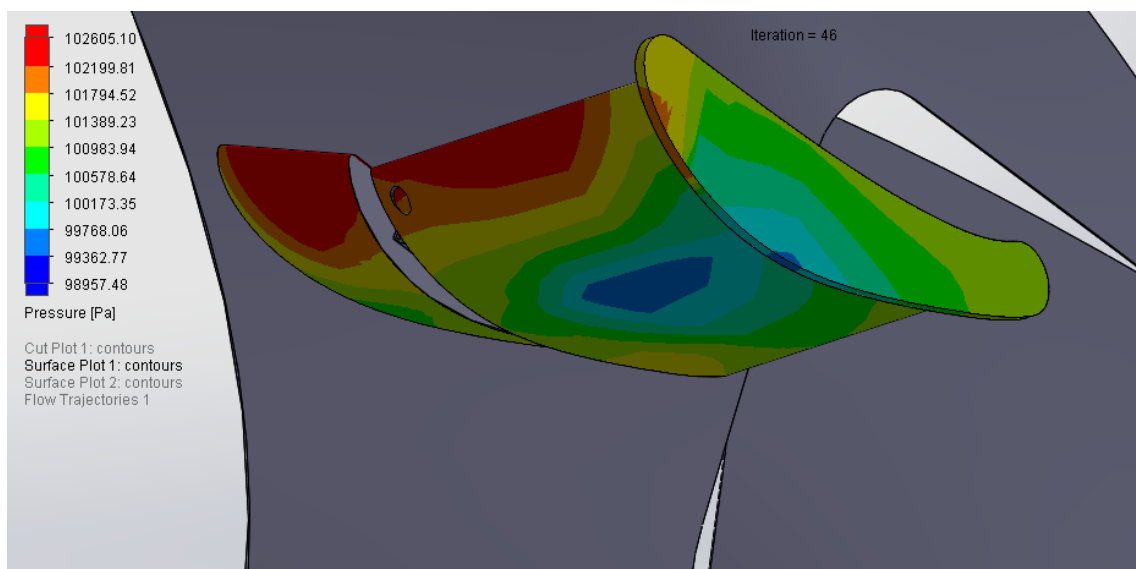


Ilustración 110: Surface plot del alerón móvil a 20° a 300 km/h (parte inferior)

9.2.4. MOTO_M_30°

RESULTADOS SIMULACIONES EN CURVA A 30 GRADOS (ALERÓN MÓVIL INTERIOR)

27,77 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	0,075046646
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-4,269863072
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-1,034585182
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,221727784
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-0,246189373
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,037939225

41,66 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,16549869
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-7,633483198
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-1,555646432
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-1,009289162
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-1,510063985
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,233242203

55,56 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	0,017181989
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-15,40597048
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-2,987928469
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-1,380619932
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-1,713130978
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,134793298

69,64 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	0,126519259
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-23,62932338
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-4,817768866
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-1,738961654
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-2,295066081
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,205495791

83,33 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	0,362055267
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-26,71714661
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-6,289010164
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-2,95693675
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-3,641763922
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,464056297

DOWNFORCE (Y)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-4,516
41,66	-9,144
55,56	-17,119
69,64	-25,924
83,33	-30,359

DRAG (X)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-1,073
41,66	-1,789
55,56	-3,123
69,64	-5,023
83,33	-6,753

FUERZA CONTRARIA A LA CURVA (Z)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-0,147
41,66	-1,175
55,56	-1,363
69,64	-1,612
83,33	-2,595

Tabla 47: Resultados del alerón interior en el sistema de alerones móviles a 30°

RESULTADOS SIMULACIONES EN CURVA A 30 GRADOS (ALERÓN MÓVIL EXTERIOR)			
27,77 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,020093383
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-2,414447713
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-0,670499418
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,342595883
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-0,628228455
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,187216011
41,66 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,062722365
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-6,043234169
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-1,611821998
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,778357575
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-1,373611704
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,276992913
55,56 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,13053914
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-10,52863951
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-2,968916365
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-1,311093873
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-2,323153889
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,515724595
69,64 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,103056488
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-14,30091271
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-4,47860231
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-2,29957577
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-3,215312604
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,493169588
83,33 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,621242313
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-24,0831037
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-7,037134535
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-3,00226768
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-5,663176547
	FIJA DRAG INT	[N]	-2,019116753

DOWNFORCE (Y)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-3,043
41,66	-7,417
55,56	-12,852
69,64	-17,516
83,33	-29,746

DRAG (X)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-0,858
41,66	-1,889
55,56	-3,485
69,64	-4,972
83,33	-9,056

FUERZA CONTRARIA A LA CURVA (Z)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-0,363
41,66	-0,841
55,56	-1,442
69,64	-2,403
83,33	-3,624

Tabla 48: Resultados del alerón exterior en el sistema de alerones móviles a 30°

- **DRAG**

El drag producido en esta situación es muy parecido al que se obtiene con la moto a 20 grados, teniendo un rango que va desde 1,93 N a 100 km/h hasta 15,8 N (1,61 kg·f).

En este caso, en la mayoría de velocidades estudiadas se produce un descenso de drag respecto al sistema de alerones fijos hecho que se considera positivo para el comportamiento de la moto.

- **DOWNFORCE**

Sigue manteniéndose la tendencia de las dos anteriores situaciones, no se produce gran variación de valores en todo el rango de velocidades, aunque sigue siendo menor al downforce experimentado en el sistema de alerones fijos. Los valores mínimos son de 7,56 N y los máximos de 60,11 N (6,13 kg·f).

- **FUERZA CONTRARIA A LA CURVA**

Otra vez se encuentra que el valor de esta fuerza aumenta con respecto a la anterior inclinación aunque siguen siendo valores bastante bajos, teniendo en cuenta que la moto se encuentra en la mitad de su inclinación máxima. Como se ha dicho, el causante de este aumento sigue siendo el alerón de menor tamaño ya que a medida que aumenta la inclinación, aumenta también esta fuerza.

En este caso los valores superan la unidad de fuerza a los 150 km/h y llegan a un máximo de 6,22 N (0,63 kg·f), siendo aún valores que no repercuten en el funcionamiento de la moto al tener un módulo bastante bajo.

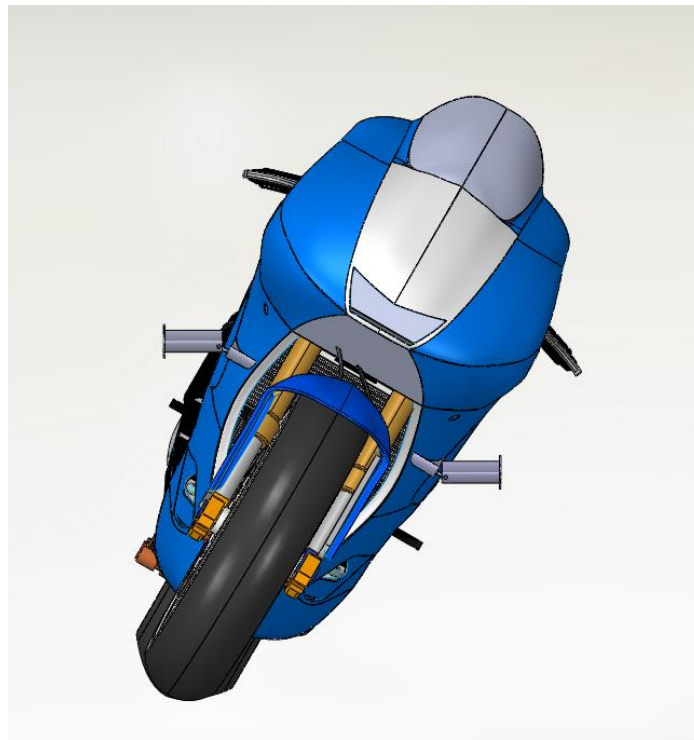


Ilustración 111: Imagen frontal de la moto a 30° con el sistema de alerones móviles



Ilustración 112: Cut plot del alerón móvil a 30° a 250 km/h

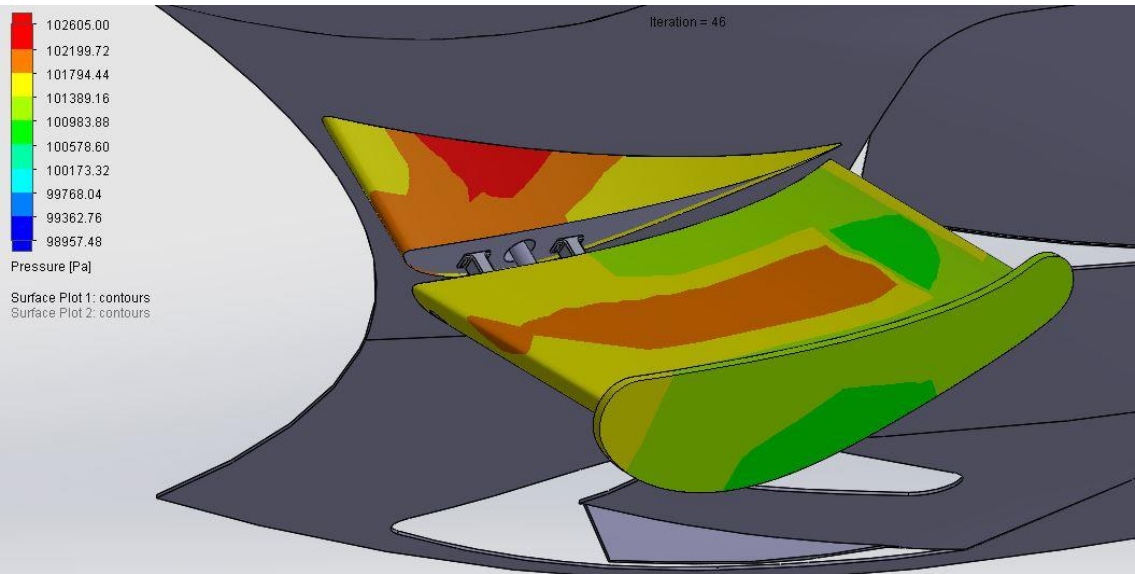
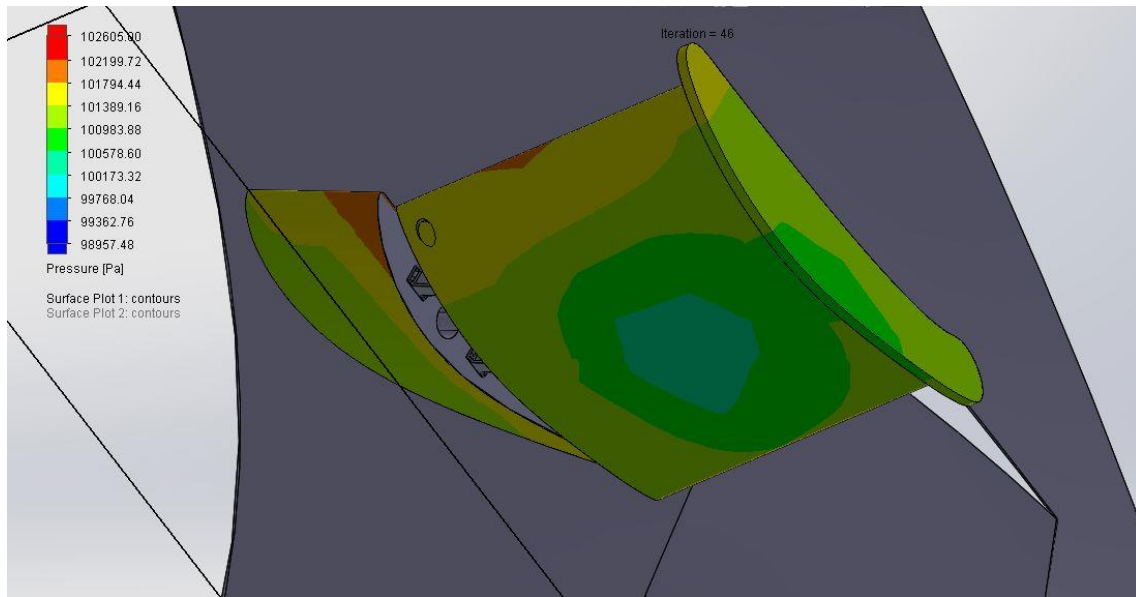


Ilustración 113: Surface plot del alerón móvil a 30° a 250 km/h (parte superior)



Il·lustració 114: Surface plot del aleró mòbil a 30° a 250 km/h (parte inferior)

9.2.5. MOTO_M_40°

RESULTADOS SIMULACIONES EN CURVA A 40 GRADOS (ALERÓN MÓVIL INTERIOR)

	Nombre	Unidades	Valor
27,77 m/s	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,002530317
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-2,186317231
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-0,467223545
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,176732627
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-0,186866808
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,104612277

	Nombre	Unidades	Valor
41,66 m/s	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,276926276
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-5,762149461
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-1,558412636
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,994668496
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-1,023327377
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,042402195

	Nombre	Unidades	Valor
55,56 m/s	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,499461028
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-10,25372561
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-2,696748523
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-1,745634045
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-1,780275414
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,101557629

	Nombre	Unidades	Valor
69,64 m/s	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,759856721
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-16,0362617
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-4,236142326
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-2,754603902
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-2,8017739
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,143717068

	Nombre	Unidades	Valor
83,33 m/s	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-1,095549063
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-23,09300373
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-6,096869348
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-4,012290861
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-4,095602666
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,188848002

DOWNFORCE (Y)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-2,373
41,66	-6,785
55,56	-12,034
69,64	-18,838
83,33	-27,189

DRAG (X)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-0,572
41,66	-1,601
55,56	-2,798
69,64	-4,380
83,33	-6,286

FUERZA CONTRARIA A LA CURVA (Z)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-0,179
41,66	-1,272
55,56	-2,245
69,64	-3,514
83,33	-5,108

Tabla 49: Resultados del alerón interior en el sistema de alerones móviles a 40°

RESULTADOS SIMULACIONES EN CURVA A 40 GRADOS (ALERÓN MÓVIL EXTERIOR)			
27,77 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,184650411
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-1,952088241
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-0,456655755
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,406795165
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-0,614364281
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,0812132
41,66 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,325451136
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-5,635164699
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-1,62161188
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,990402432
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-1,217079916
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,598824471
55,56 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-1,053283257
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-11,6373643
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-2,547571267
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-1,941285093
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-2,819804489
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,162134801
69,64 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-1,740148049
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-19,69814839
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-4,402836935
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-3,156398258
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-3,913108129
	FIJA DRAG INT	[N]	-1,864381368
83,33 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-2,697441856
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-29,91319256
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-6,610629619
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-5,031461443
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-6,684365907
	FIJA DRAG INT	[N]	-1,999048029

DOWNFORCE (Y)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-2,566
41,66	-6,852
55,56	-14,457
69,64	-23,611
83,33	-36,598

DRAG (X)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-0,538
41,66	-2,220
55,56	-2,710
69,64	-6,267
83,33	-8,610

FUERZA CONTRARIA A LA CURVA (Z)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-0,591
41,66	-1,316
55,56	-2,995
69,64	-4,897
83,33	-7,729

Tabla 50: Resultados del alerón exterior en el sistema de alerones móviles a 40°

- **DRAG**

La resistencia al avance sigue manteniéndose baja y se reduce aún más respecto a los apartados inferiores, aunque de una manera muy ligera por lo que se puede considerar que se mantiene constante. Los valores siguen oscilando entre 1,1 N el mínimo a 100 km/h y 14,9 N (1,52 kg·f) aunque, como en el estudio de alerones fijos, marcaremos el máximo de velocidad alcanzable a esta inclinación como 250 km/h al considerar que es incapaz de adquirir los 300 km/h, por lo que se fijará

como valor máximo de drag los 10,65 N (1,01 kg·f). Si nos fijamos en el estudio de alerones fijos, se ve que en este punto también se mantiene constante el drag producido por lo que es bueno que siga la misma tendencia que el estudio anterior.

- **DOWNFORCE**

Sigue manteniéndose la tendencia de las situaciones anteriores, donde no varían demasiado los valores para las velocidades estudiadas. En algunas velocidades se ven valores inferiores a la anterior y en otras superiores pero no se aprecian variaciones grandes que hagan ver que se produce un cambio drástico de comportamiento en esta inclinación.

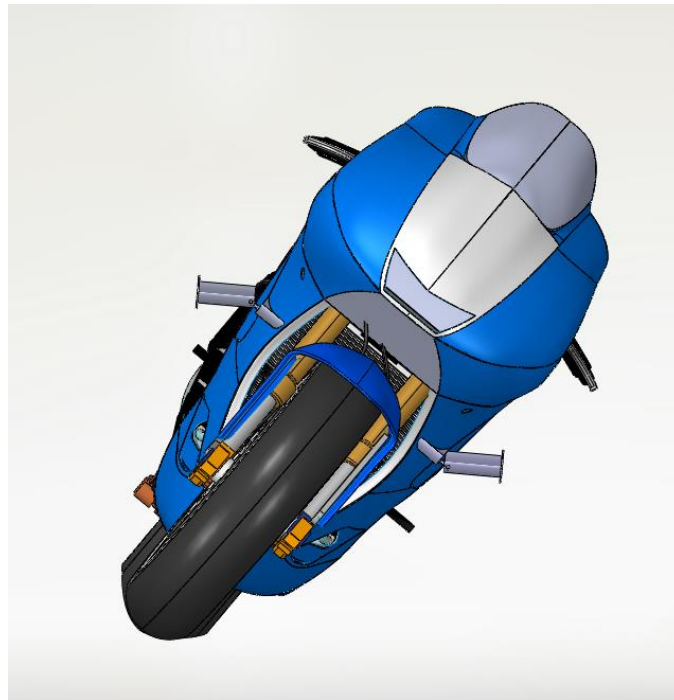
El valor mínimo encontrado es de 4,94 N a 100 km/h y el máximo de 63,79 N (6,5 kg·f) a 300 km/h. De todas maneras, tal y como se ha comentado anteriormente respecto al estudio de alerones fijos, se cree que la moto es incapaz de alcanzar los 300 km/h a esta inclinación por lo que también se fijará la velocidad máxima en 250 km/h y, por lo tanto, el máximo valor considerable es de 42,49 N (4,33 kg·f).

- **FUERZA CONTRARIA A LA CURVA**

Llegados a este punto, encontramos que los valores obtenidos aumentan de manera significativa. Posiblemente este hecho sea debido a que, aparte de que el alerón de menor tamaño produce ya un valor alto de fuerza contr. a la curva, el alerón móvil se encuentra inclinado a 5° respecto a la vertical por lo que ejerce también una fuerza horizontal. Pese a estos factores los valores siguen siendo bajos comparados con el sistema anterior a estas alturas y aún se consideran como buenos.

El resultado mínimo sigue sin pasar de la unidad mientras que el máximo se sitúa ya en 12,84 N (1,31 kg·f) a 300 km/h.

Siguiendo la idea de la velocidad máxima alcanzable, se marca como máximo valor los 8,41 N (0,86 kg·f).



Il·lustració 115: Imagen frontal de la moto a 40° con el sistema de alerones móviles



Il·lustració 116: Cut plot del alerón móvil a 40° a 250 km/h

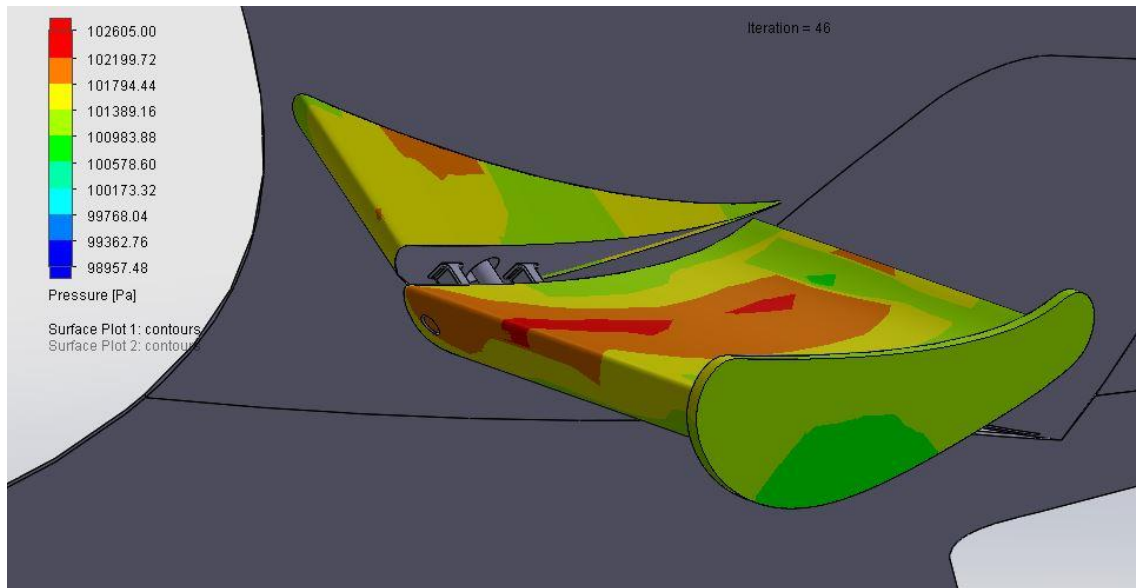


Ilustración 117: Surface plot del alerón móvil a 40° a 250 km/h (parte superior)

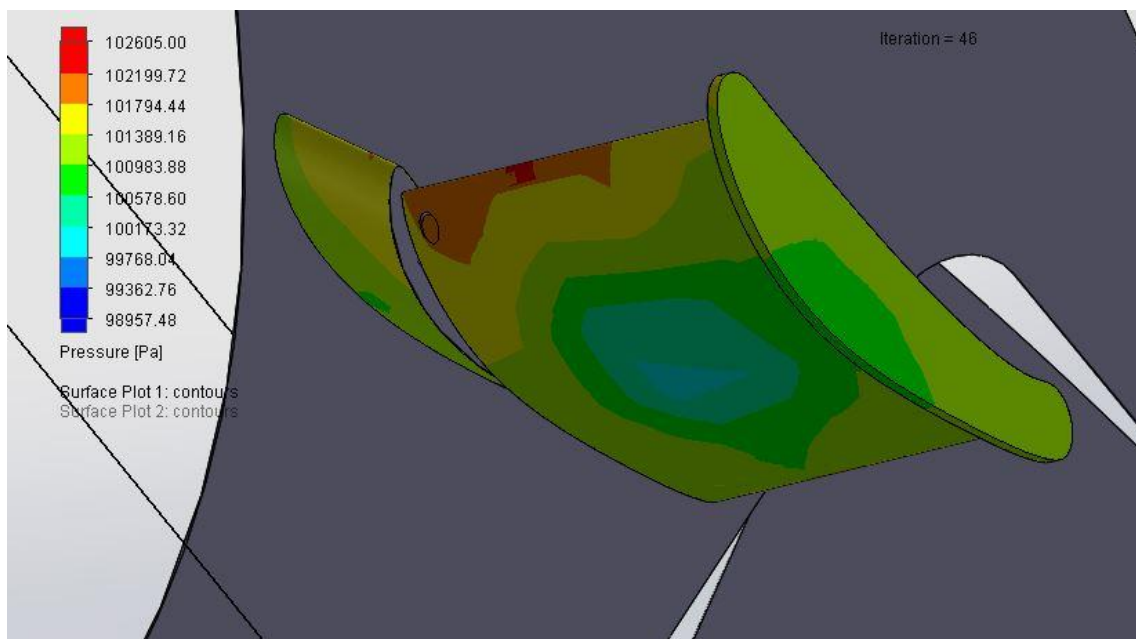


Ilustración 118: Surface plot del alerón móvil a 40° a 250 km/h (parte inferior)

9.2.6. MOTO_M_50°

RESULTADOS SIMULACIONES EN CURVA A 50 GRADOS (ALERÓN MÓVIL INTERIOR)

27,77 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,856714112
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-3,081778576
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-0,932265573
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,404390697
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-0,337678274
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,106035106

41,66 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-1,894171734
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-6,829482562
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-2,096045281
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,934454678
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-0,783895691
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,225206623

55,56 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-3,53404882
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-12,83176226
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-3,842911472
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-1,623482298
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-1,350979436
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,443331034

69,64 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-5,376185528
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-19,6296596
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-5,93605817
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-2,499457187
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-2,08173051
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,641932519

83,33 m/s	Nombre	Unidades	Valor
	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-7,679299013
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-27,89741401
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-8,452183844
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-3,740909089
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-3,118609472
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,965749737

DOWNFORCE (Y)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-3,419
41,66	-7,613
55,56	-14,183
69,64	-21,711
83,33	-31,016

DRAG (X)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-1,038
41,66	-2,321
55,56	-4,286
69,64	-6,578
83,33	-9,418

FUERZA CONTRARIA A LA CURVA (Z)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-1,261
41,66	-2,829
55,56	-5,158
69,64	-7,876
83,33	-11,420

Tabla 51: Resultados del alerón interior en el sistema de alerones móviles a 50°

RESULTADOS SIMULACIONES EN CURVA A 50 GRADOS (ALERÓN MÓVIL EXTERIOR)

	Nombre	Unidades	Valor
27,77 m/s	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,796529758
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-2,390744845
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-0,651558249
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-0,506926018
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-0,488403385
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,142931685

	Nombre	Unidades	Valor
41,66 m/s	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-1,515505183
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-5,427685718
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-1,597966116
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-1,094612379
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-0,901534392
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,287061266

	Nombre	Unidades	Valor
55,56 m/s	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-2,842895511
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-9,907078351
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-2,545353363
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-3,302162809
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-2,857307842
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,029593186

	Nombre	Unidades	Valor
69,64 m/s	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-4,329154717
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-15,52006541
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-3,973215749
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-4,958650585
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-4,308943288
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,045713068

	Nombre	Unidades	Valor
83,33 m/s	MÓVIL F.EXT.CURVA INT	[N]	-7,086799147
	MÓVIL DOWNFORCE INT	[N]	-25,82764245
	MÓVIL DRAG INT	[N]	-5,71815955
	FIJA F.EXT.CURVA INT	[N]	-8,499765805
	FIJA DOWNFORCE INT	[N]	-7,170803607
	FIJA DRAG INT	[N]	-0,193674156

DOWNFORCE (Y)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-2,879
41,66	-6,329
55,56	-12,764
69,64	-19,829
83,33	-32,998

DRAG (X)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-0,794
41,66	-1,885
55,56	-2,575
69,64	-4,019
83,33	-5,912

FUERZA CONTRARIA A LA CURVA (Z)	
Velocidad (m/s)	Valor
27,77	-1,303
41,66	-2,610
55,56	-6,145
69,64	-9,288
83,33	-15,587

Tabla 52: Resultados del alerón exterior en el sistema de alerones móviles a 50°

- DRAG**

Vuelven a mantenerse valores prácticamente iguales de resistencia al avance respecto al análisis a 40 grados aunque, en este caso, se marcará, como valor de velocidad máxima alcanzable los 200 km/h que se marcaron en el estudio de alerones fijos. De esta manera, el valor máximo obtenido es de 6,86 N (0,7 kg·f).

- **DOWNFORCE**

Igual que en el estudio de drag, aquí también se encuentran valores parecidos al apartado anterior, y marcando de valor de velocidad máxima alcanzable los 200 km/h, se obtienen 26,95 N (2,75 kg·f).

- **FUERZA CONTRARIA A LA CURVA**

Ya por último, debido a los factores comentados anteriormente, se obtienen los valores más altos de fuerza contraria a la curva, produciéndose como máximo a 200 km/h una fuerza de 11,3 N (1,15 kg·f). Pese a ser el valor más alto obtenido, se puede estar satisfecho ya que se reduce en más de un 55% respecto al sistema de alerones fijos.

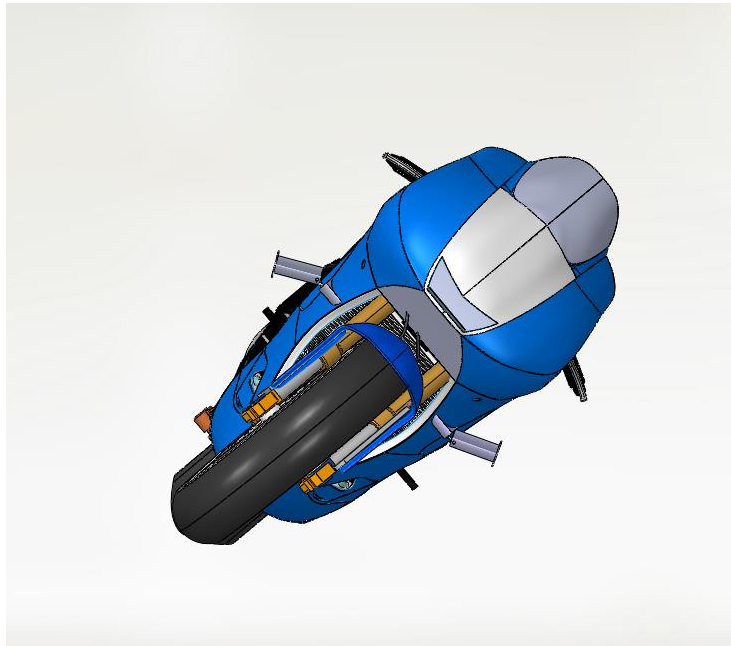
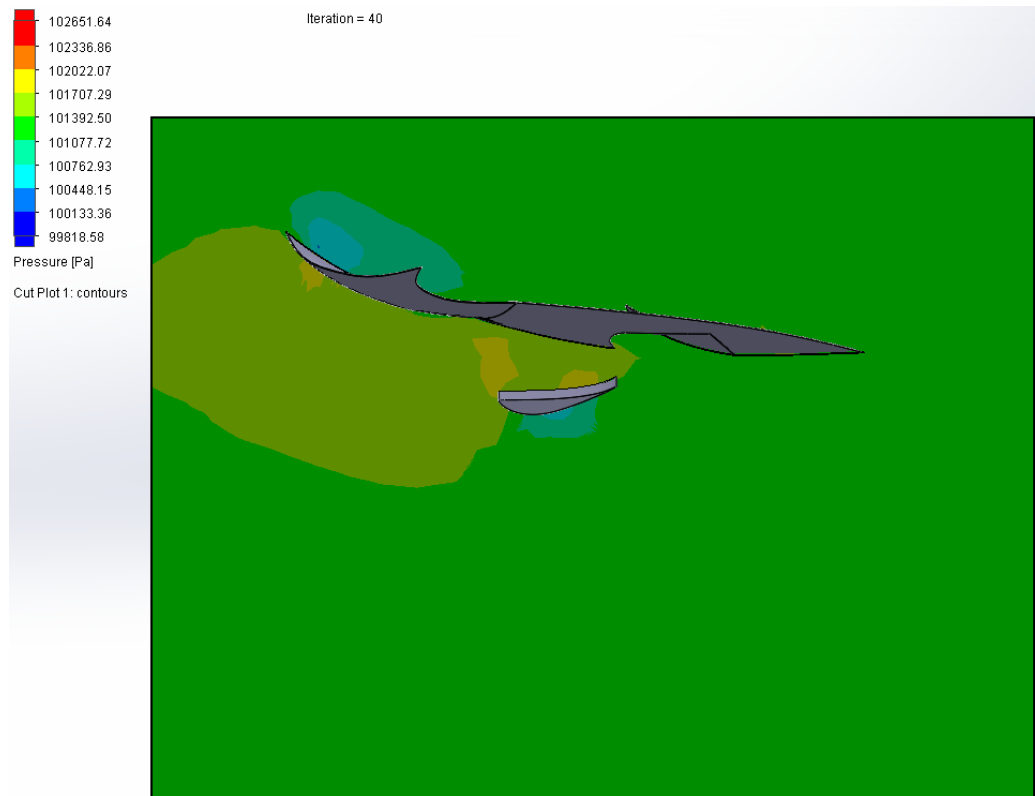
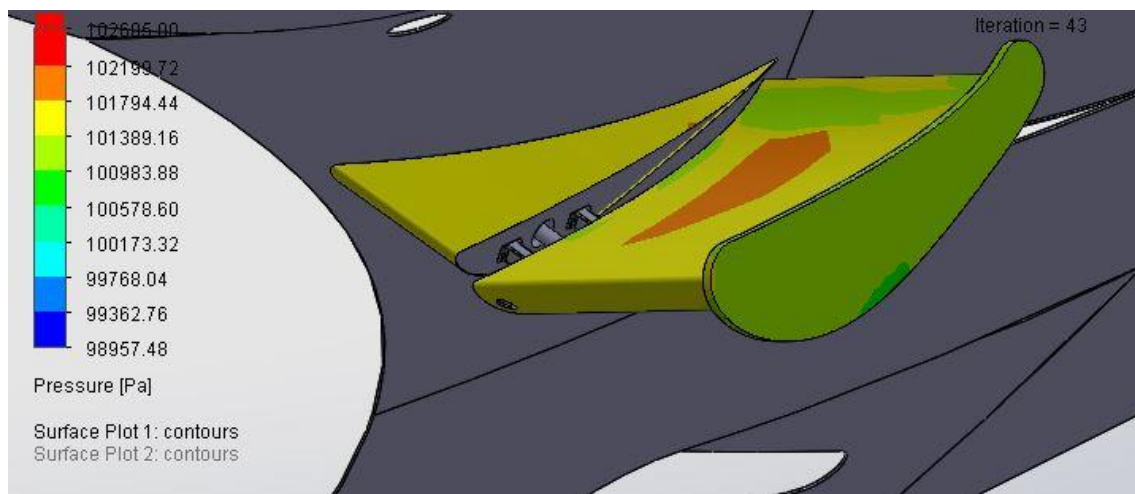


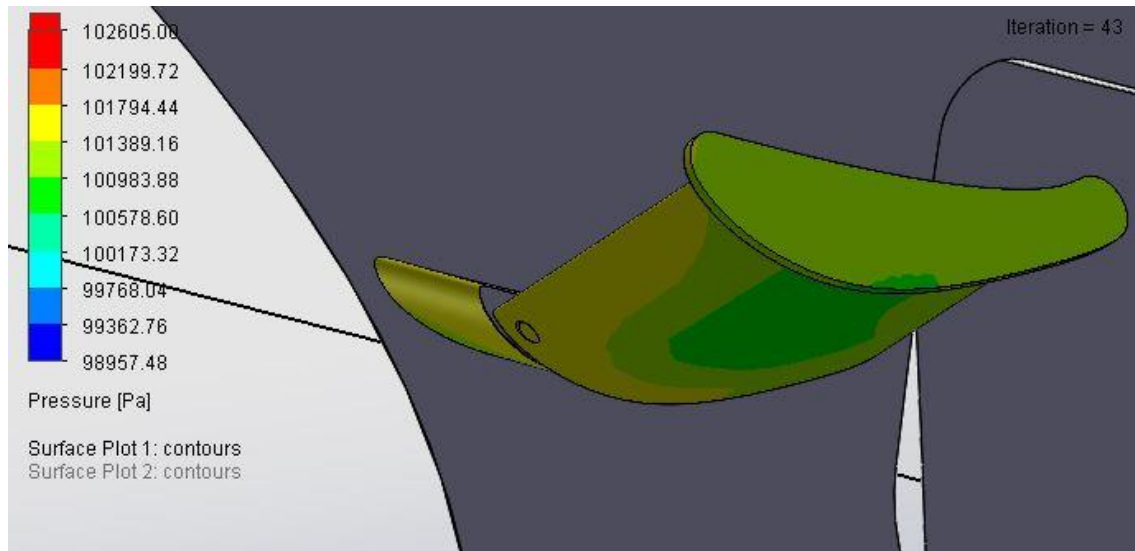
Ilustración 119: Imagen frontal de la moto a 50° con el sistema de alerones móviles



Il·lustració 120: Cut plot del aleró mòbil a 50° a 200 km/h



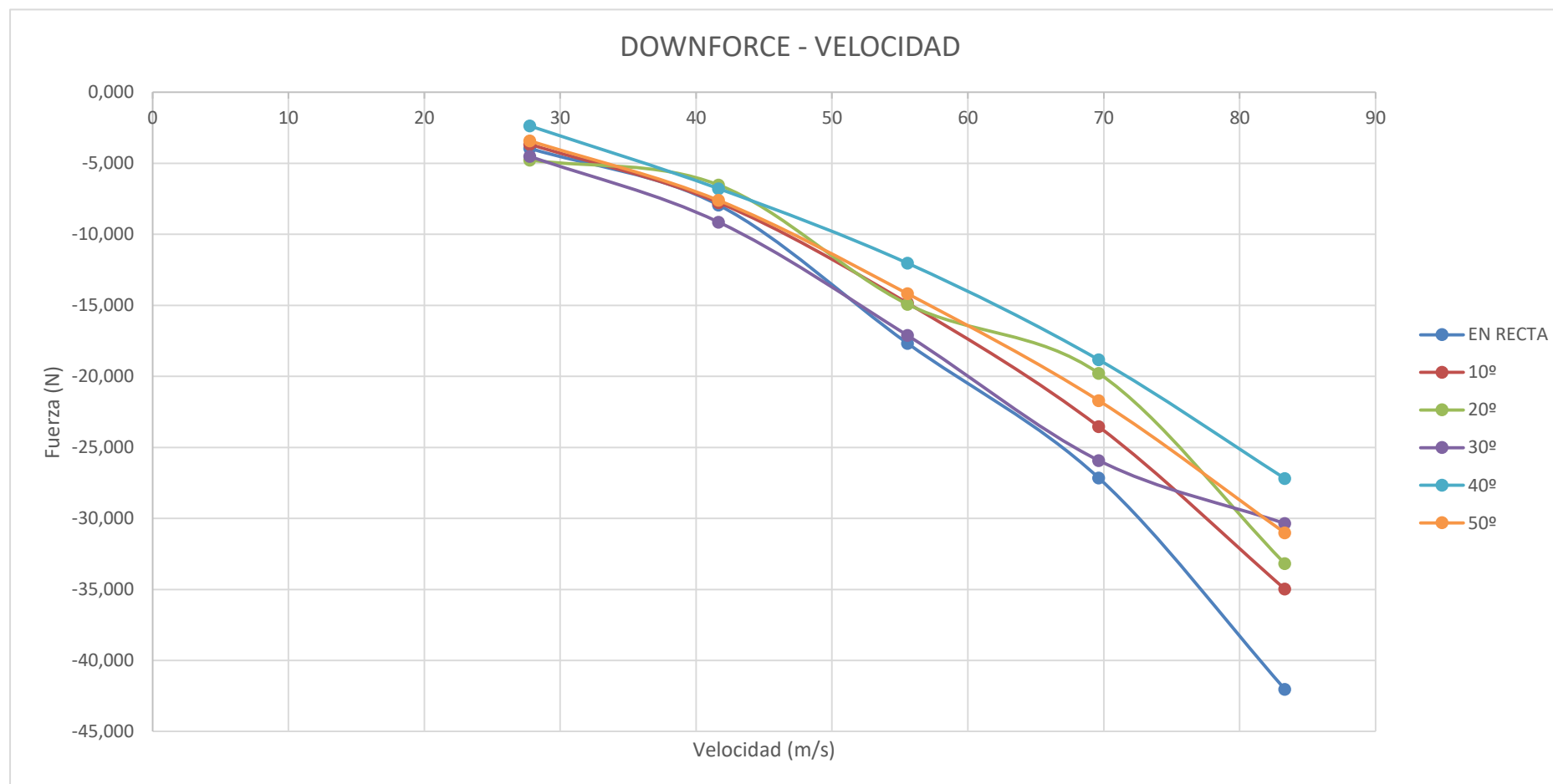
Il·lustració 121: Surface plot del aleró mòbil a 50° a 200 km/h (parte superior)



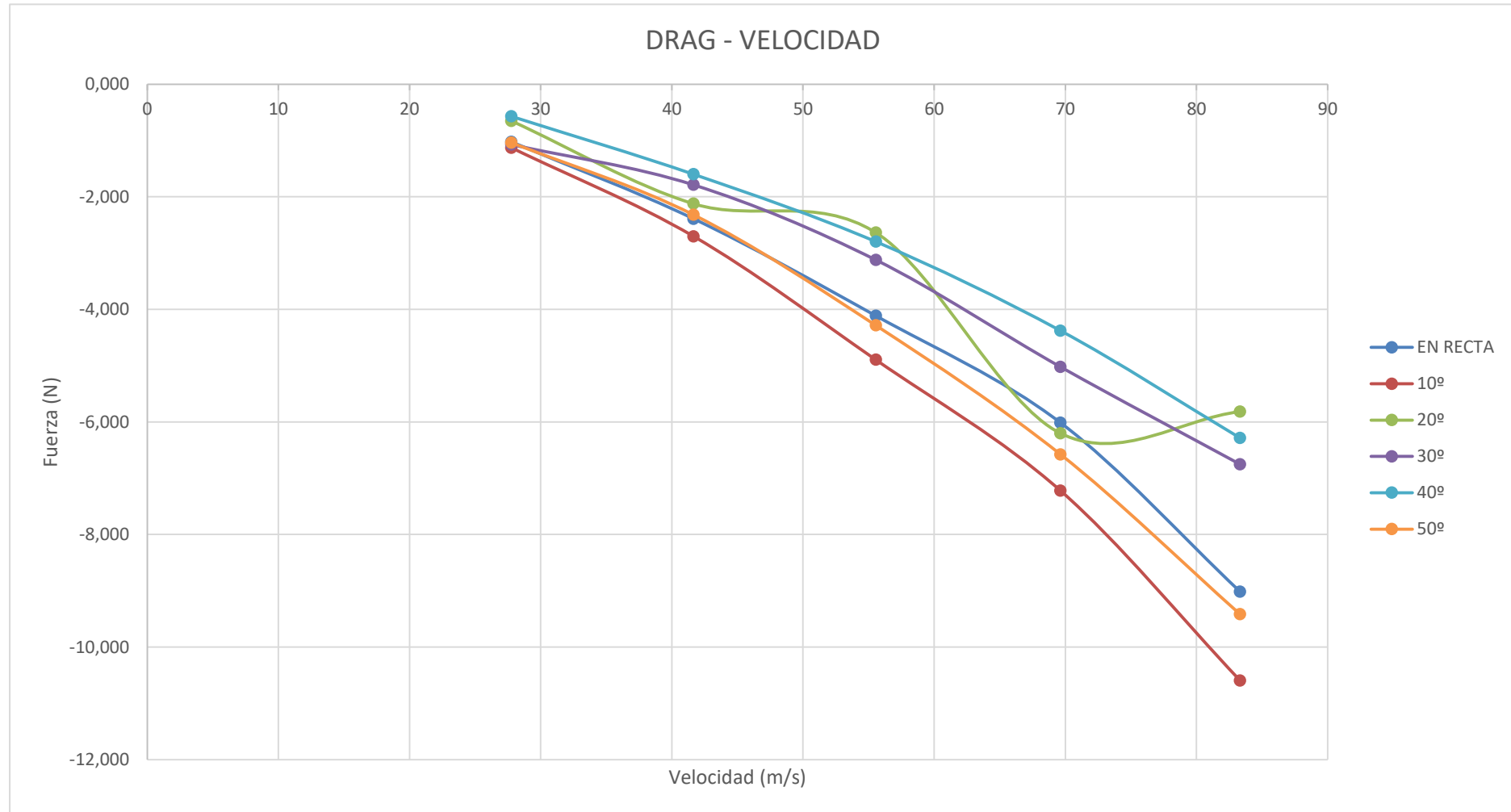
Il·lustració 122: Surface plot del aleró mòbil a 50° a 200 km/h (parte inferior)

Al igual que en el primer estudio, se han realizado la misma serie de gráficos para poder acabar de entender los resultados y el comportamiento del nuevo sistema.

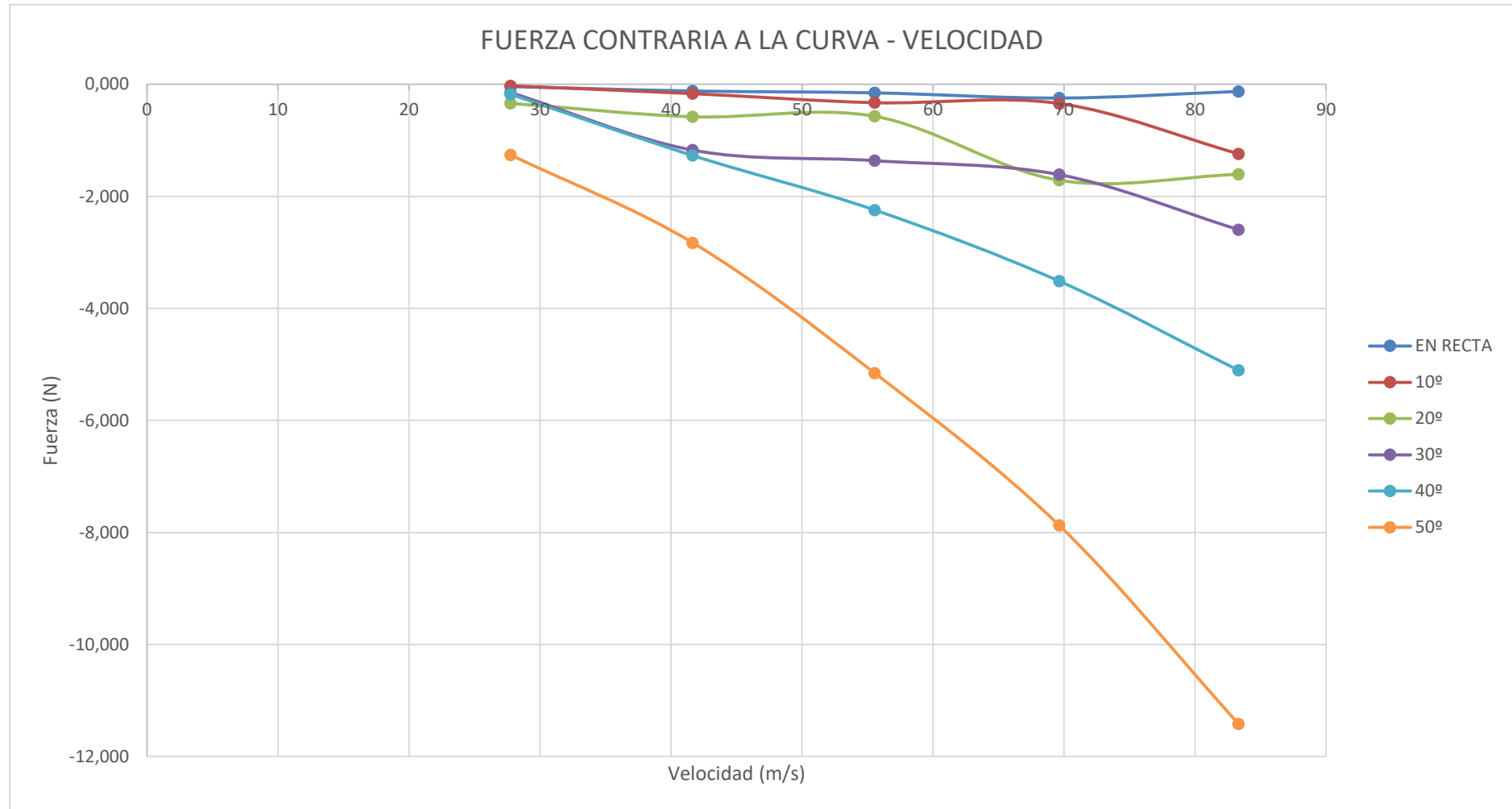
9.2.7. GRÁFICO DOWNFORCE - VELOCIDAD EN EL ALERÓN INTERIOR



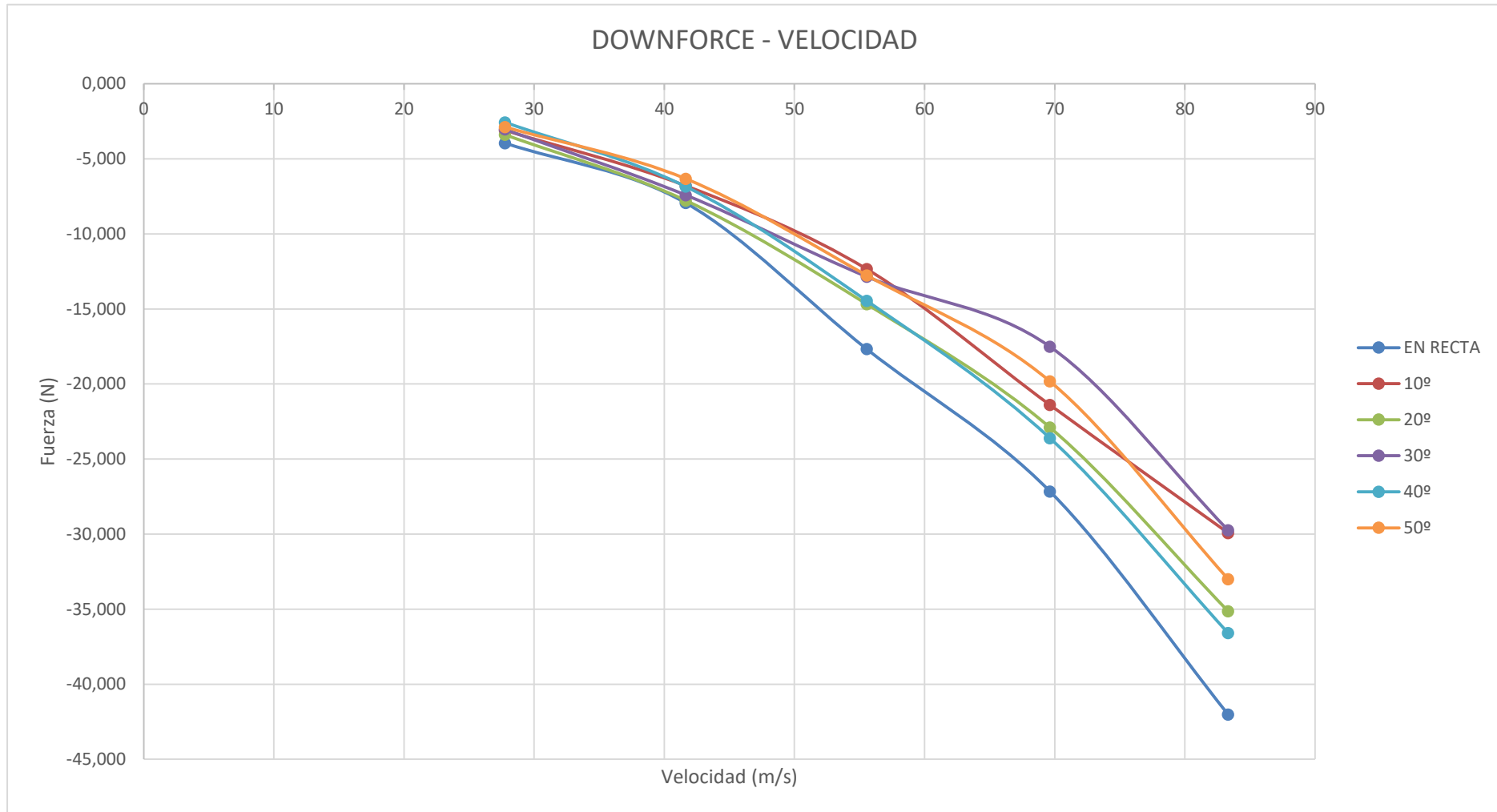
9.2.8. GRÁFICO DRAG - VELOCIDAD EN EL ALERÓN INTERIOR



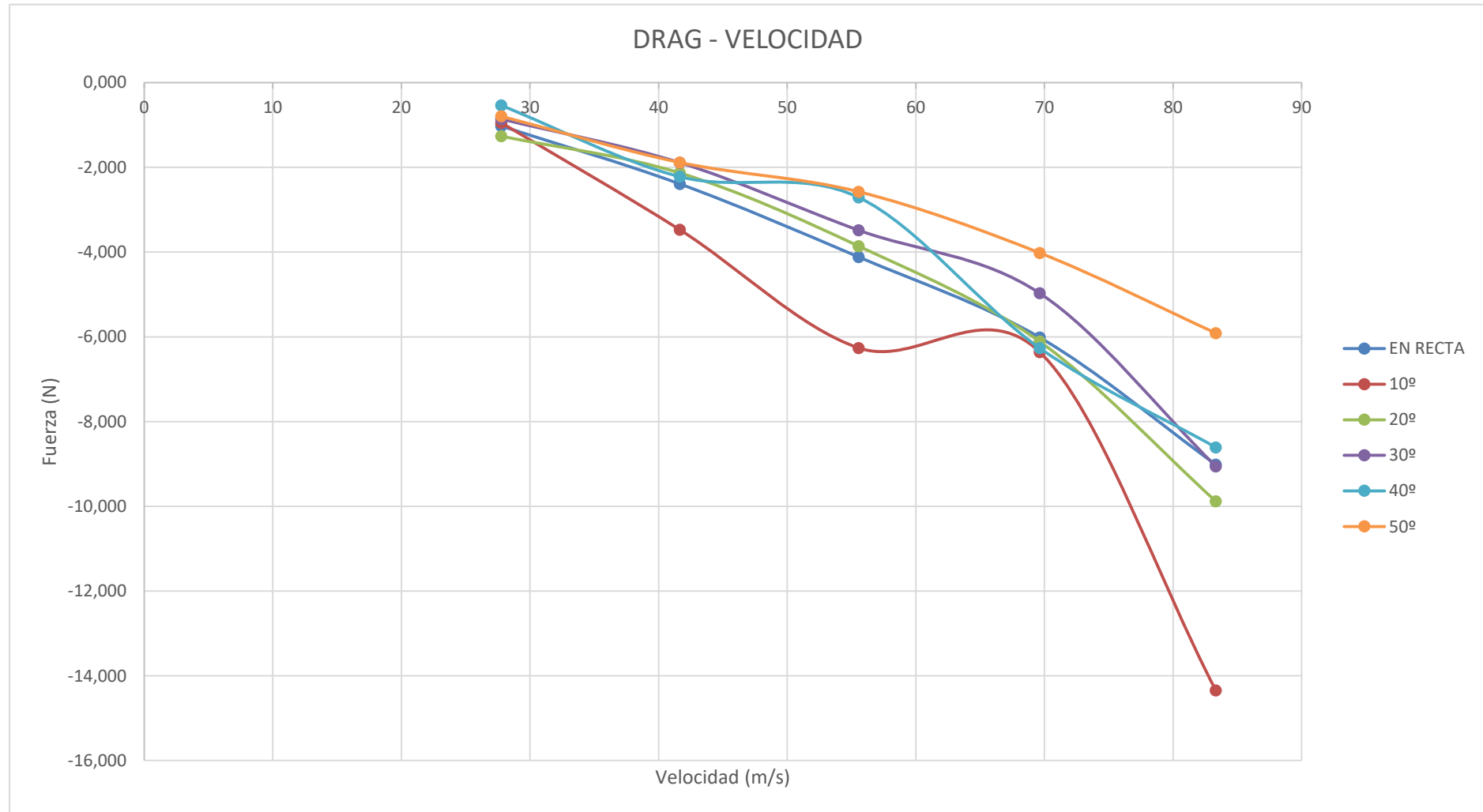
9.2.9. GRÁFICO FCC – VELOCIDAD EN EL ALERÓN INTERIOR



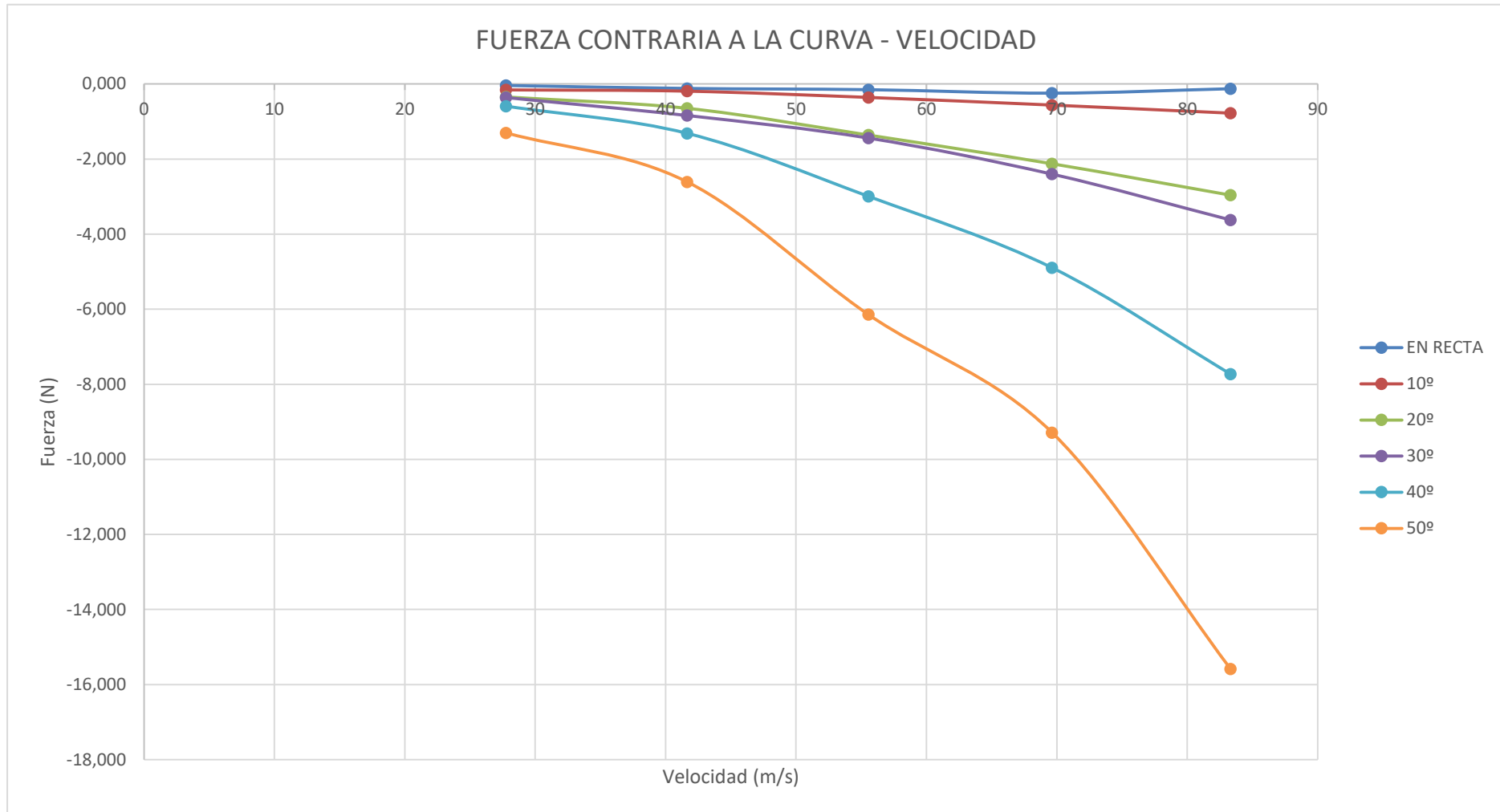
9.2.10. GRÁFICO DOWNFORCE - VELOCIDAD EN EL ALERÓN EXTERIOR



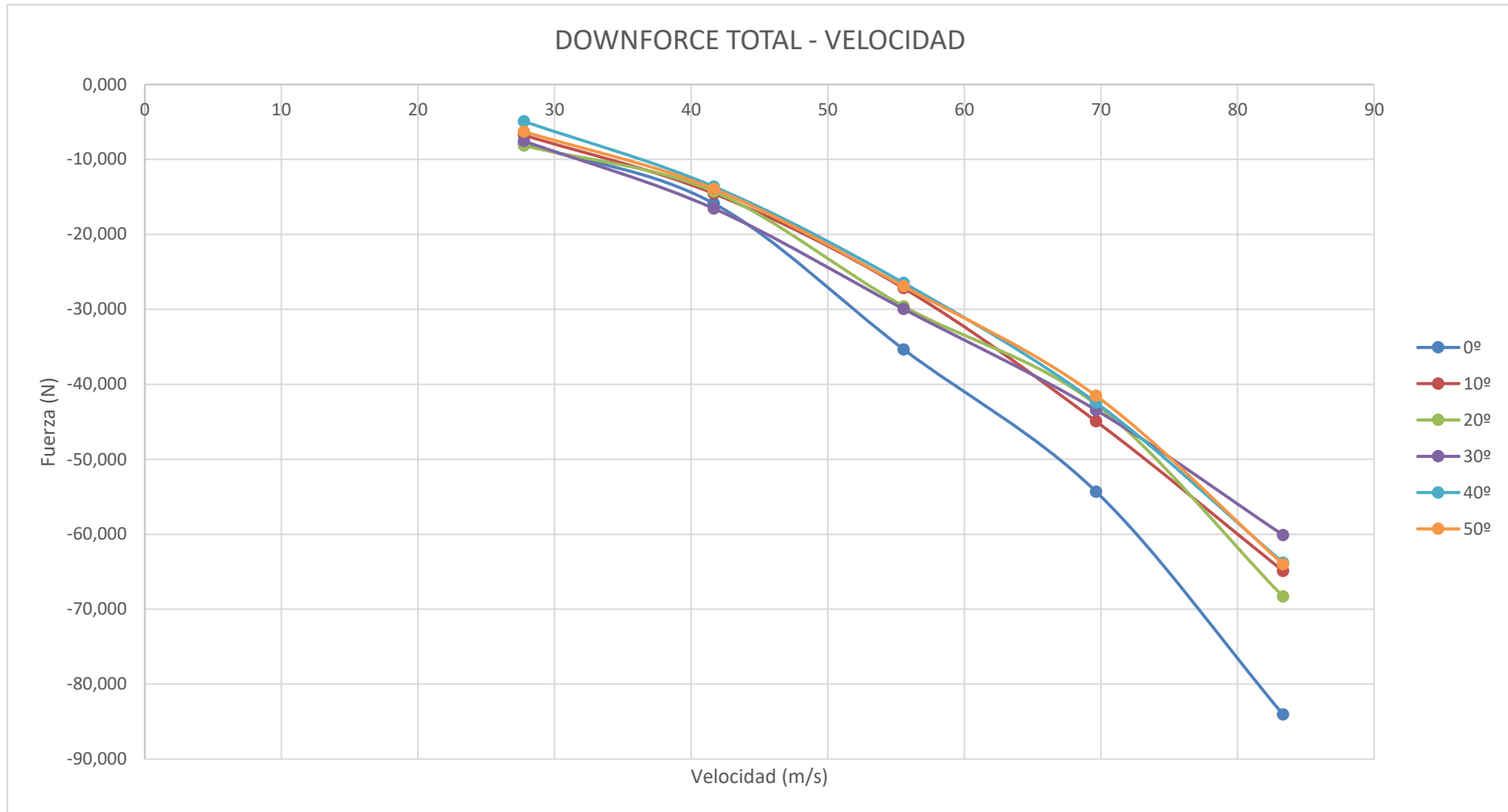
9.2.11. GRÁFICO DRAG - VELOCIDAD EN EL ALERÓN EXTERIOR



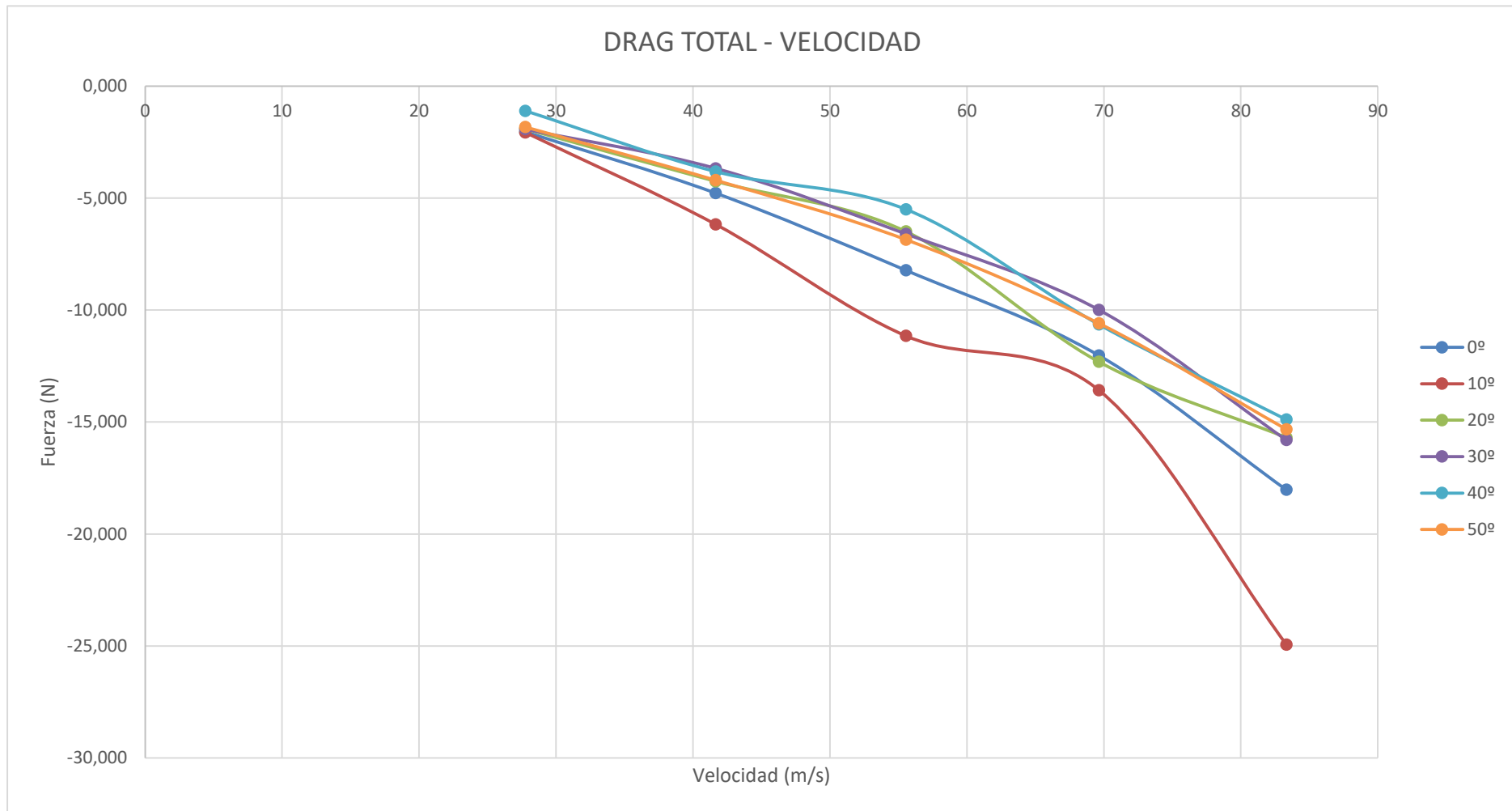
9.2.12. GRÁFICO FCC – VELOCIDAD EN EL ALERÓN EXTERIOR



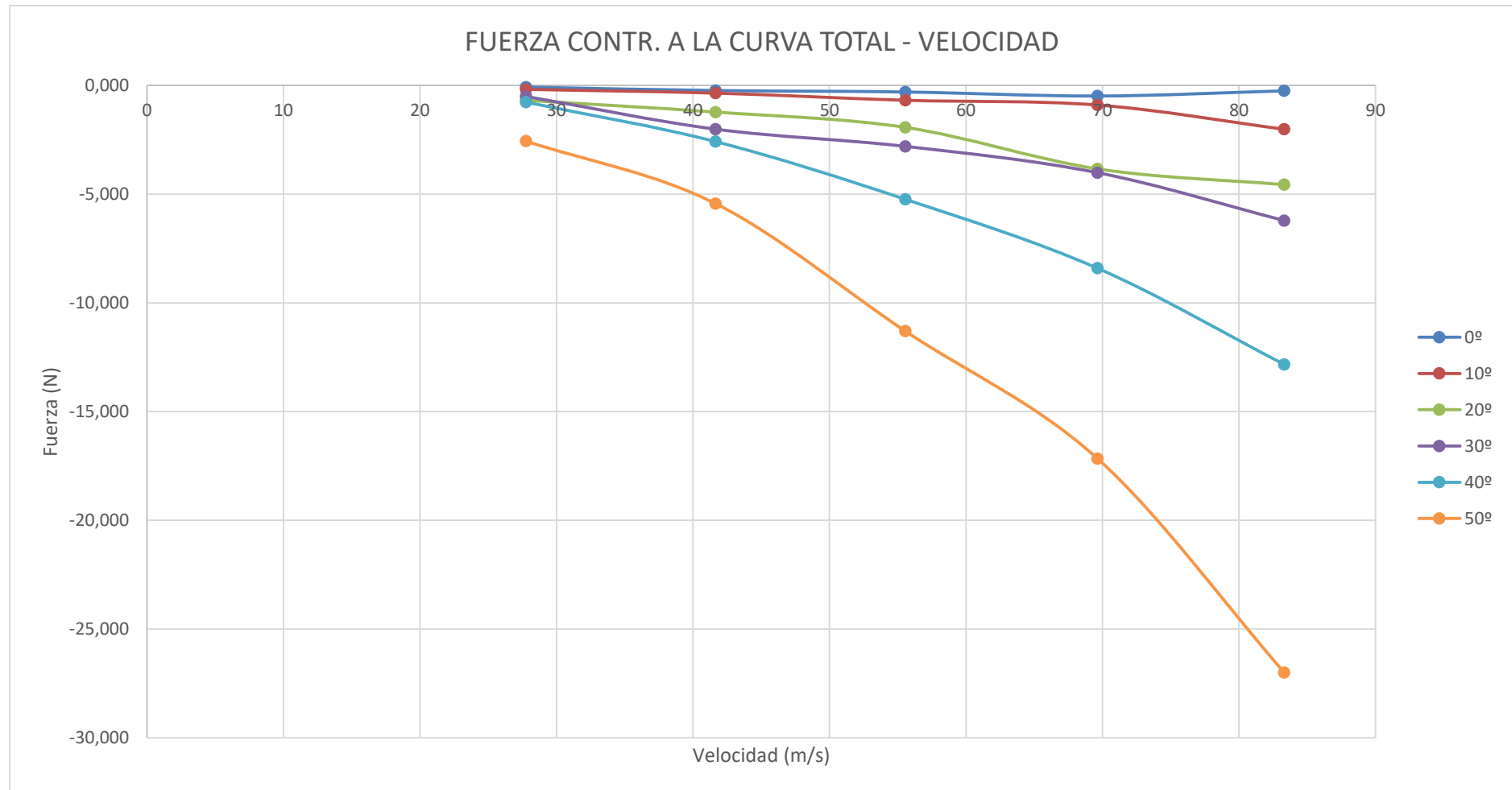
9.2.13. GRÁFICO DOWNFORCE TOTAL - VELOCIDAD SISTEMA ALERONES MÓVILES



9.2.14. GRÁFICO DRAG TOTAL - VELOCIDAD SISTEMA ALERONES MÓVILES



9.2.15. GRÁFICO FCC TOTAL - VELOCIDAD SISTEMA ALERONES MÓVILES



9.2.16. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y COMPARATIVA

Una vez obtenidos todos los datos acerca del nuevo diseño, se puede considerar que los resultados son bastante buenos para los objetivos que se marcaban desde un principio y se asemejan bastante a ellos.

Si bien es cierto que los valores de *downforce* obtenidos se esperaban más altos no se consideran malos los obtenidos, además cabe destacar que, llegado a un cierto punto la sustentación negativa generada por el nuevo sistema supera a la del sistema de alerones fijos y este dato también debe considerarse una ventaja.

En cuanto al *drag*, si se hace una lectura general de los valores, se ve que en ningún momento se obtienen valores demasiado altos por lo que este también es un punto a favor acerca del nuevo sistema ya que si se produjesen resistencias demasiado altas, se produciría una gran desventaja respecto al sistema anterior.

El aspecto más importante, y por el cual se ha realizado este proyecto, era el de eliminar las fuerzas transversales, las que nosotros hemos llamado fuerzas contrarias a la curva, y se puede ver que en gran medida, cuando se mantiene el alerón en horizontal, esas fuerzas desaparecen casi por completo con el sistema diseñado. El único hándicap es el hecho de que, como se ha comentado, por aspectos de diseño sea imposible contra rotar el alerón hasta llegar al máximo de inclinación de la moto, aunque el desfase que se produce en el alerón respecto a la horizontal sigue siendo muy pequeño, si se compara con el desfase que se produce en el sistema de alerones fijos. Además hay que tener en cuenta también el valor de la fuerza que genera el alerón de menor tamaño ya que es el causante de esta fuerza durante todos los grados estudiados hasta llegar a los 35.

Para hacer más visibles estos cambios producidos por el nuevo sistema, se han realizado una serie de gráficos comparativos de ambos estudios.

DOWNFORCE - FUERZA CONTRARIA A LA CURVA			
DOWNFORCE		FUERZA CONTR. A LA CURVA	
ÁNGULO DE INCLINACIÓN	FUERZA (N)	ÁNGULO DE INCLINACIÓN	FUERZA (N)
0	-35,35	0	-0,305
10	-27,188	10	-0,687
20	-29,605	20	-1,934
30	-29,971	30	-2,805
40	-26,491	40	-5,24
50	-26,947	50	-11,303

Tabla 53: Resultados de downforce y fcc a 200 km/h

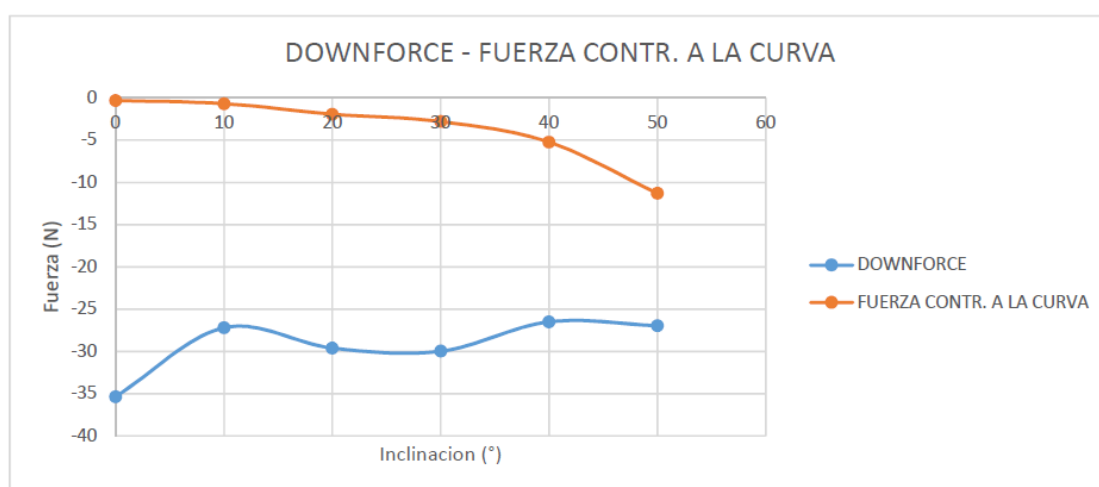


Tabla 54: Gráfico Downforce - Fuerza contraria a la curva

Aquí se aprecia una comparativa del *downforce* con respecto a la fuerza contraria a la curva, estudio que se ha realizado también en el análisis de sistema de alerones fijos a 200 km/h. Si se compara con el anterior, se aprecia que con este sistema en ningún momento se cruzan ambas líneas, eso significa que el traspase de cantidad de *downforce* a fuerza contraria a la curva se produce en gran medida por el alerón de menor tamaño y de una manera muy reducida.

Además, en el anterior análisis se apreciaba una clara tendencia descendente del *downforce* a medida que se aumentaba la inclinación mientras que con el nuevo, a partir de los 10 grados, se mantiene prácticamente constante en sus valores y además llega a superar el valor producido por los alerones fijos a partir de una inclinación aproximada de 38° debido a la pérdida producida.

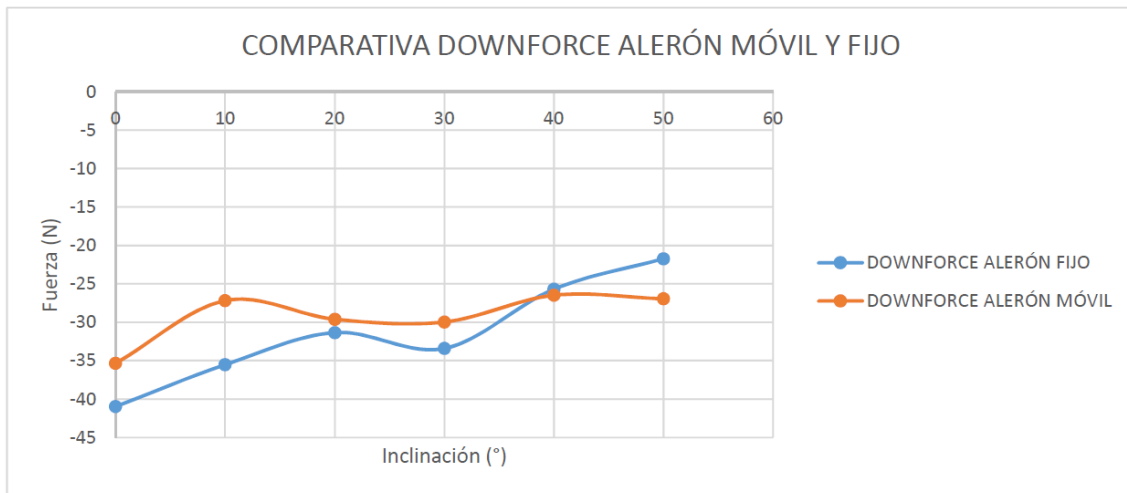


Tabla 55: Gráfico Downforce alerón fijo – alerón móvil

La fuerza contraria a la curva también ha experimentado variaciones y es que, su tendencia sigue siendo ascendente pero de manera mucho menor a la que se producía anteriormente.

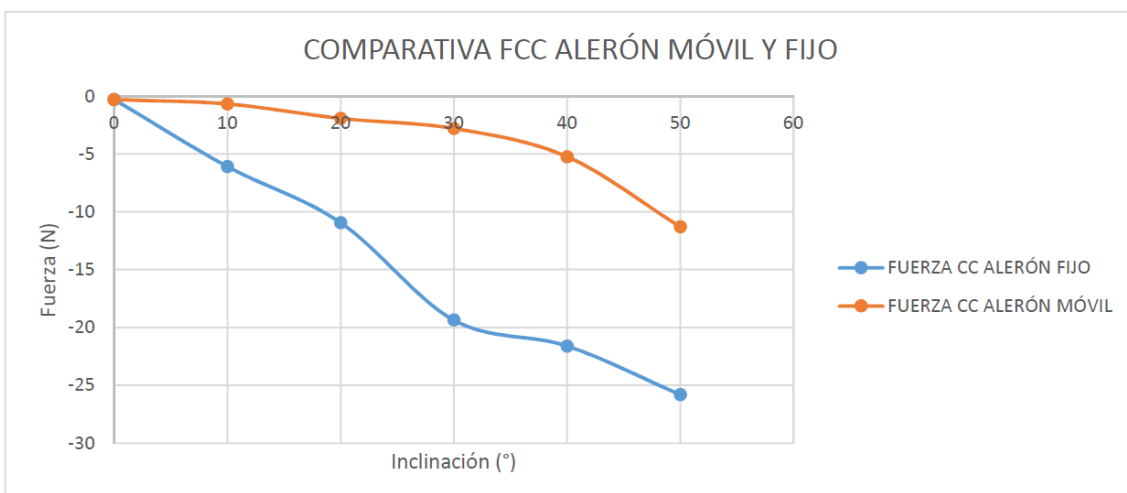


Tabla 56: Gráfico Fuerza CC alerón fijo – alerón móvil

Ya como última fuerza, el *drag* experimentado en el nuevo sistema también se comporta de mejor manera que en el anterior ya que, a partir de los 16° aproximadamente de inclinación, produce una menor resistencia al avance. Cabe decir por eso, que este gráfico es menos preciso que los anteriores ya que, lo que en las otras dos fuerzas es una tendencia clara en todo el rango de velocidades e inclinaciones, en esta no se

cumple siempre por lo que no se confirma del todo si su comportamiento es mejor o peor en el nuevo sistema.

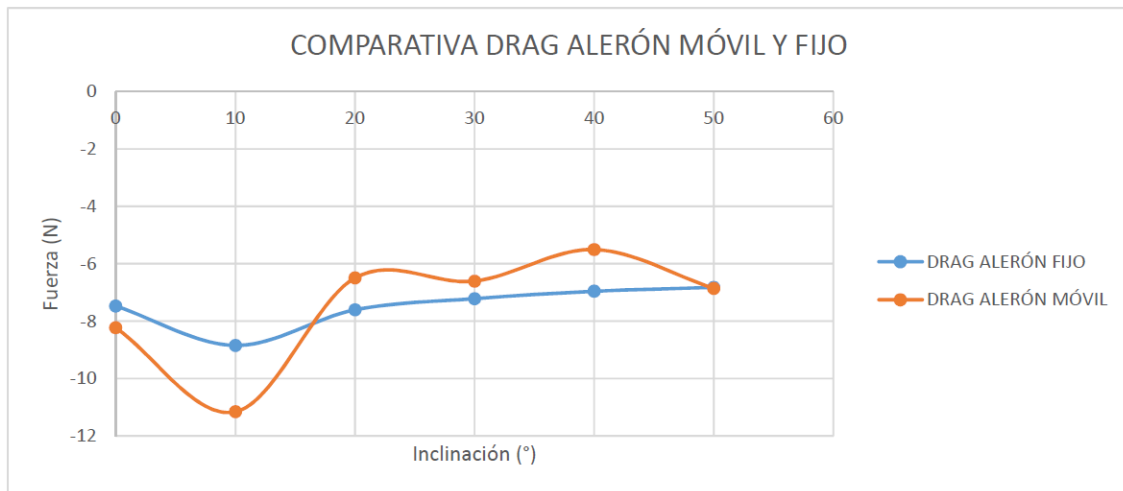


Tabla 57: Gráfico drag alerón fijo – alerón móvil

Para terminar la comparativa, se han realizado una serie de tablas que nos indican de manera clara que sistema de los dos es mejor o peor en cada una de las velocidades e inclinaciones de la moto. Para ellos se han seleccionado todos los datos recogidos en los dos estudios. De esta manera se verán, de la forma más clara posible, las ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas.

En el primer punto del *Anexo 1: Imágenes de las simulaciones de los alerones*, se han expuesto diferentes capturas obtenidas con las opciones *Cut plots* y *Surface plots* del *Flow Simulation*, que ayudan a entender y leer los resultados obtenidos ya que muestran de una manera gráfica el comportamiento del fluido a su paso por la región estudiada.

MEJORA AERODINÁMICA DE UNA MOTO DE COMPETICIÓN

COMPARATIVA DE AMBOS SISTEMAS DE ALERONES

DIFERENCIA DE DOWNFORCE GENERADO A 0°				
Velocidad (m/s)	ALERONES FIJOS	ALERONES MÓVILES	DIFERENCIA	% DIFERENCIA
27,77	-9,884	-7,903	-1,981	-20,04
41,66	-23,527	-15,890	-7,637	-32,46
55,56	-40,970	-35,350	-5,621	-13,72
69,64	-67,673	-54,321	-13,352	-19,73
83,33	-111,398	-84,050	-27,348	-24,55

DIFERENCIA DE DOWNFORCE GENERADO A 10°				
Velocidad (m/s)	ALERONES FIJOS	ALERONES MÓVILES	DIFERENCIA	% DIFERENCIA
27,77	-9,119	-6,768	-2,351	-25,78
41,66	-20,940	-14,564	-6,375	-30,45
55,56	-35,511	-27,188	-8,324	-23,44
69,64	-58,250	-44,943	-13,307	-22,84
83,33	-90,448	-64,898	-25,550	-28,25

DIFERENCIA DE DOWNFORCE GENERADO A 20°				
Velocidad (m/s)	ALERONES FIJOS	ALERONES MÓVILES	DIFERENCIA	% DIFERENCIA
27,77	-8,590	-8,165	-0,425	-4,95
41,66	-18,216	-14,306	-3,910	-21,47
55,56	-31,338	-29,605	-1,733	-5,53
69,64	-53,403	-42,690	-10,713	-20,06
83,33	-81,766	-68,323	-13,443	-16,44

DIFERENCIA DE DOWNFORCE GENERADO A 30°				
Velocidad (m/s)	ALERONES FIJOS	ALERONES MÓVILES	DIFERENCIA	% DIFERENCIA
27,77	-8,019	-7,559	-0,460	-5,74
41,66	-18,714	-16,560	-2,154	-11,51
55,56	-33,413	-29,971	-3,442	-10,30
69,64	-51,110	-43,441	-7,669	-15,01
83,33	-74,595	-60,105	-14,489	-19,42

DIFERENCIA DE DOWNFORCE GENERADO A 40°				
Velocidad (m/s)	ALERONES FIJOS	ALERONES MÓVILES	DIFERENCIA	% DIFERENCIA
27,77	-6,136	-4,940	-1,197	-19,50
41,66	-14,306	-13,638	-0,668	-4,67
55,56	-25,702	-26,491	0,790	3,07
69,64	-41,663	-42,449	0,786	1,89
83,33	-58,706	-63,786	5,080	8,65

DIFERENCIA DE DOWNFORCE GENERADO A 50°				
Velocidad (m/s)	ALERONES FIJOS	ALERONES MÓVILES	DIFERENCIA	% DIFERENCIA
27,77	-5,157	-6,299	1,141	22,13
41,66	-11,889	-13,943	2,054	17,27
55,56	-21,731	-26,947	5,216	24,00
69,64	-34,173	-41,540	7,367	21,56
83,33	-49,394	-64,014	14,621	29,60

DIFERENCIA DE DRAG GENERADO A 0°				
Velocidad (m/s)	ALERONES FIJOS	ALERONES MÓVILES	DIFERENCIA	% DIFERENCIA
27,77	-1,921	-2,049	0,128	6,642
41,66	-4,351	-4,783	0,432	9,923
55,56	-7,477	-8,231	0,755	10,095
69,64	-13,417	-12,030	-1,387	-10,340
83,33	-19,730	-18,033	-1,698	-8,604

DIFERENCIA DE DRAG GENERADO A 10°				
Velocidad (m/s)	ALERONES FIJOS	ALERONES MÓVILES	DIFERENCIA	% DIFERENCIA
27,77	-1,714	-2,076	0,362	21,113
41,66	-4,556	-6,177	1,621	35,583
55,56	-8,845	-11,160	2,315	26,175
69,64	-14,492	-13,582	-0,910	-6,276
83,33	-21,440	-24,944	3,505	16,347

DIFERENCIA DE DRAG GENERADO A 20°				
Velocidad (m/s)	ALERONES FIJOS	ALERONES MÓVILES	DIFERENCIA	% DIFERENCIA
27,77	-1,547	-1,916	0,369	23,879
41,66	-4,607	-4,256	-0,351	-7,616
55,56	-7,608	-6,498	-1,110	-14,593
69,64	-12,153	-12,315	0,162	1,332
83,33	-18,128	-15,699	-2,428	-13,396

DIFERENCIA DE DRAG GENERADO A 30°				
Velocidad (m/s)	ALERONES FIJOS	ALERONES MÓVILES	DIFERENCIA	% DIFERENCIA
27,77	-1,743	-1,930	0,187	10,723
41,66	-4,068	-3,678	-0,390	-9,593
55,56	-7,216	-6,607	-0,608	-8,431
69,64	-10,984	-9,995	-0,989	-9,005
83,33	-16,058	-15,809	-0,249	-1,549

DIFERENCIA DE DRAG GENERADO A 40°				
Velocidad (m/s)	ALERONES FIJOS	ALERONES MÓVILES	DIFERENCIA	% DIFERENCIA
27,77	-1,645	-1,110	-0,535	-32,540
41,66	-3,809	-3,821	0,012	0,322
55,56	-6,961	-5,508	-1,453	-20,870
69,64	-10,855	-10,647	-0,208	-1,912
83,33	-16,003	-14,895	-1,107	-6,919

DIFERENCIA DE DRAG GENERADO A 50°				
Velocidad (m/s)	ALERONES FIJOS	ALERONES MÓVILES	DIFERENCIA	% DIFERENCIA
27,77	-1,605	-1,833	0,228	14,228
41,66	-3,775	-4,206	0,431	11,426
55,56	-6,824	-6,861	0,037	0,541
69,64	-10,781	-10,597	-0,184	-1,710
83,33	-15,684	-15,330	-0,355	-2,261

DIFERENCIA DE FUERZA CONTR. A LA CURVA GENERADO A 0°				
Velocidad (m/s)	ALERONES FIJOS	ALERONES MÓVILES	DIFERENCIA	% DIFERENCIA
27,77	-0,057	-0,081	0,025	43,352
41,66	-0,175	-0,238	0,062	35,478
55,56	-0,301	-0,305	0,003	1,083
69,64	-0,657	-0,490	-0,166	-25,339
83,33	-0,842	-0,254	-0,587	-69,793

DIFERENCIA DE FUERZA CONTR. A LA CURVA GENERADO A 10°				
Velocidad (m/s)	ALERONES FIJOS	ALERONES MÓVILES	DIFERENCIA	% DIFERENCIA
27,77	-1,582	-0,185	-1,397	-88,320
41,66	-3,650	-0,359	-3,292	-90,178
55,56	-6,091	-0,687	-5,404	-88,725
69,64	-10,000	-0,905	-9,095	-90,949
83,33	-15,229	-2,018	-13,211	-86,747

DIFERENCIA DE FUERZA CONTR. A LA CURVA GENERADO A 20°				
Velocidad (m/s)	ALERONES FIJOS	ALERONES MÓVILES	DIFERENCIA	% DIFERENCIA
27,77	-3,050	-0,687	-2,363	-77,486
41,66	-6,414	-1,228	-5,185	-80,847
55,56	-10,937	-1,934	-9,003	-82,321
69,64	-18,507	-3,840	-14,667	-79,251
83,33	-28,849	-4,570	-24,279	-84,159

DIFERENCIA DE FUERZA CONTR. A LA CURVA GENERADO A 30°				
Velocidad (m/s)	ALERONES FIJOS	ALERONES MÓVILES	DIFERENCIA	% DIFERENCIA
27,77	-4,665	-0,509	-4,156	-89,081
41,66	-10,869	-2,016	-8,853	-81,453
55,56	-19,358	-2,805	-16,553	-85,509
69,64	-28,888	-4,015	-24,873	-86,101
83,33	-42,160	-6,218	-35,941	-85,250

DIFERENCIA DE FUERZA CONTR. A LA CURVA GENERADO A 40°				
Velocidad (m/s)	ALERONES FIJOS	ALERONES MÓVILES	DIFERENCIA	% DIFERENCIA
27,77	-5,150	-0,771	-4,379	-85,034
41,66	-11,989	-2,587	-9,401	-78,418
55,56	-21,601	-5,240	-16,361	-75,743
69,64	-34,388	-8,411	-25,977	-75,541
83,33	-49,198	-12,837	-36,361	-73,908

DIFERENCIA DE FUERZA CONTR. A LA CURVA GENERADO A 50°				
Velocidad (m/s)	ALERONES FIJOS	ALERONES MÓVILES	DIFERENCIA	% DIFERENCIA
27,77	-6,126	-2,565	-3,561	-58,136
41,66	-14,142	-5,439	-8,703	-61,542
55,56	-25,809	-11,303	-14,507	-56,207
69,64	-40,587	-17,163	-23,423	-57,712
83,33	-58,564	-27,007	-31,557	-53,885

Tabla 58: Comparativa de comportamiento de ambos sistemas

10. MECANISMO DE ROTACIÓN DE LOS ALERONES

Para formar un sistema de piezas móviles, es necesario formar un mecanismo que permita ese movimiento. En nuestro caso, con la intención de generar una rotación de los alerones, se ha tenido la necesidad de pensar y diseñar una serie de piezas auxiliares que permitan que todo funcione de manera correcta.

Durante la realización del proyecto han surgido varias ideas posibles de las cuales se han acabado eligiendo dos.

En primer lugar, para poder realizar una correcta elección de las piezas que forman el mecanismo, se ha tenido la necesidad de calcular el par máximo que genera el alerón producido por su peso y por la carga aerodinámica.

En este caso, se ha decidido marcar como peor de los casos, la situación en la cual la moto se encuentra sin inclinación y a máxima velocidad ya que, en ese momento, la carga aerodinámica será también máxima y, sumada al peso del mismo alerón, producirán el momento resistente máximo en el eje de rotación.

El alerón, al ser de fibra de carbono y no ser una pieza demasiado voluminosa, es bastante ligera. La masa obtenida ha sido de 69,21 g y por lo tanto su peso ha sido de 0,67 N. Si a esta pieza se le suma el peso de la tapa de aluminio (1,53 N), da un peso total de 2,2 N.

La carga aerodinámica máxima, se ha considerado de 84,05 N, producida a 300 km/h con la moto recta.

La distancia entre las cargas obtenidas y el eje de rotación del alerón ha sido de 44 mm.

Para simplificar los cálculos, se han considerado ambas cargas como puntuales en el centro de gravedad del alerón.

$$M_{RESIST. MÁX} = W_{ALERÓN} \cdot d_{ALERÓN} + W_{DOWNFORCE} \cdot d_{DOWNFORCE}$$

$$M_{RESIST. MÁX} = (2,2 + 84,05) \cdot 0,044$$

$$M_{RESIST. MÁX} = 3,79 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Conocido el par máximo que se debe vencer con el motor, se puede seleccionar un modelo comercial.

En primer lugar, se ha optado por un motor paso a paso ya que este tipo de motores son capaces de girar su eje un cierto ángulo que le manden sin necesidad de rotarlo continuamente como un motor convencional. El modelo de motor paso a paso escogido ha sido el **ST6018D4508-A** de la serie **ST6018 - Stepper Motor - NEMA 24** de la empresa **Nanotec™**, capaz de funcionar con una tensión de 24 V y de generar un par motor máximo de 4 N·m. Se decidió este modelo de motor ya que cumple con los requisitos mecánicos necesarios para un buen funcionamiento del mecanismo. A continuación se muestran algunos datos acerca de este modelo:

TECHNICAL DATA

NEMA	24	Size	60 mm
Current per Winding	4.5 A	Holding Torque Unipolar	283 Ncm
Holding Torque Bipolar	400.22 Ncm	Rotor Inertia	1100 gcm ²
Resistance per Winding	0.75 Ohm	Inductance per Winding	1.4 mH
Resolution	1.8 °/step	Length "A"	111 mm
Weight	1.9 kg	Shaft Modification	☑

Tabla 28: Datos técnicos del motor paso a paso de Nanotec™

(<https://en.nanotec.com/>)

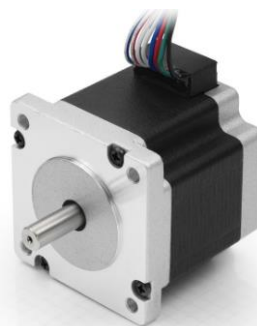
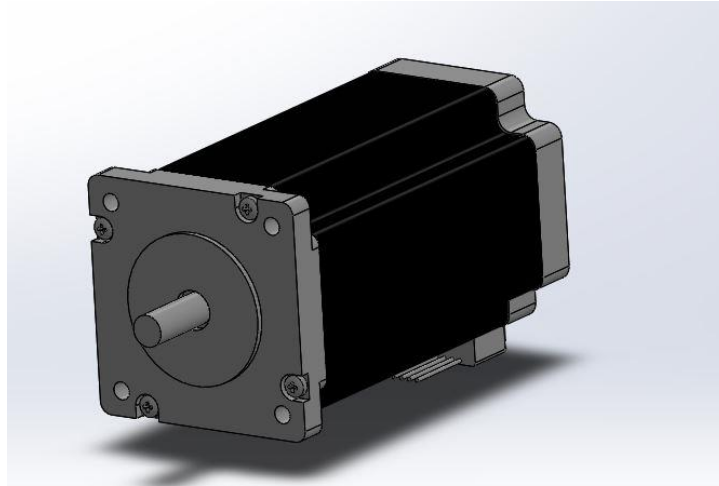


Ilustración 123: Motor paso a paso ST6018D4508-A

(<https://en.nanotec.com/>)



Il·lustració 124: Motor paso a paso ST6018D4508-A en SolidWorks™

Después de analizarlo detalladamente, se ha descartado por sus elevadas dimensiones y pesos ya que, para las prestaciones que se necesitan, superaban los 2 kg y los 12 cm de caja y esas especificaciones han sido incompatibles con el diseño y dimensiones de la moto.

Una vez descartado el primer tipo de motor, se ha decidido buscar servomotores ya que su funcionamiento y prestaciones son parecidas y se adaptan a las necesidades del sistema diseñado por tamaño y peso. Después de realizar una búsqueda bastante extensa, se ha encontrado un tipo de servomotores utilizados generalmente para aeromodelismo ya que ofrecen unas prestaciones mecánicas muy buenas comparadas con sus dimensiones.

Finalmente, se ha escogido un servomotor de la empresa **Hitec™ Multiplex**, más concretamente el modelo **D980TW** que ofrece las siguientes prestaciones:



Ilustración 125: Servomotor Hitec™ Multiplex D980TW

(<https://hitecrd.com/>)

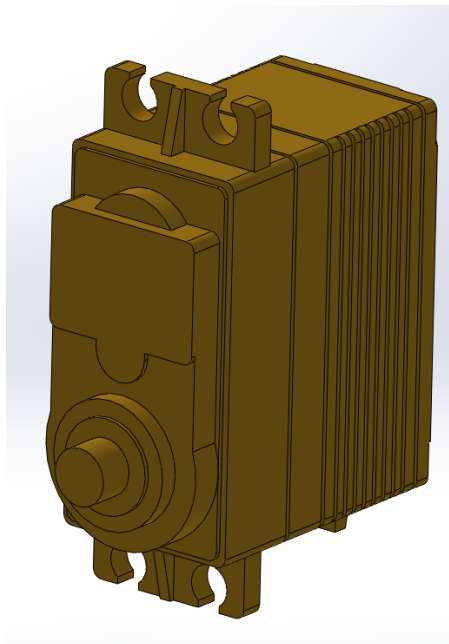


Ilustración 126: Diseño en SolidWorks™ del Servomotor Hitec™ Multiplex D980TW

Performance Specifications	
Operating Voltage Range (Volts DC)	4.8V ~ 6.0V ~ 7.4V
Speed (Second @ 60°)	0.28 ~ 0.21 ~ 0.17
Maximum Torque Range oz. / in.	361 ~ 500 ~ 611
Maximum Torque Range kg. / cm.	26.0 ~ 36.0 ~ 44.0
Current Draw at Idle	30 mA
No Load Operating Current Draw	500 mA
Stall Current Draw	6,200 mA
Dead Band Width	1 μ s
Physical Specifications	
Dimensions (Inches)	1.72 x 0.88 x 1.57
Dimensions (Metric)	43.8 x 22.4 x 40.0
Weight (Ounces)	2.76
Weight (Gram)	79.0
Circuit Type	32bit Programmable Digital
Motor Type	Coreless Metal Brush
Gear Material	Titanium
Bearing Type	Dual Ball Bearing
Output Shaft (type / Ømm)	H25T
Case Material	Plastic / Aluminum
Dust / Water Resistance	Splash Proof
Connector Gauge (AWG) / Strand Count	20 / 80

Tabla 29: Prestaciones del servomotor Hitec™ Multiplex D980TW

[\(https://hitecrnd.com/\)](https://hitecrnd.com/)

En nuestro caso, se ha utilizado dicho motor a una tensión de 7,4 V para poder conseguir los 44 kg·cm equivalentes a 4,32 Nm de par. De esa manera se consigue batir el par resistente máximo provocado por el alerón a máxima velocidad.

Como se ve en la tabla de prestaciones, este motor es de unas dimensiones bastante reducidas (43,8 x 22,4 x 40,0 mm) aparte de ser muy ligero (0,079 kg).

En resumen, se puede afirmar que este motor cumple con todas las necesidades pensadas en la búsqueda y es capaz de ofrecer unas prestaciones excelentes para realizar el giro del alerón móvil.

10.1. MECANISMO DE ENGRANAJES

En un primer momento, se pensó en un mecanismo formado por una serie de ejes y engranajes capaces de generar el giro del alerón. Se formó un sistema de ejes colocados a 90° uno del otro y en el mismo plano, en los cuales iban alojados dos engranajes cónicos que se encargaban de transmitir el movimiento de rotación. Uno de los ejes iba alojado en el alerón móvil y le transmitía su rotación cada vez que él mismo lo hacía. A su vez, el eje de ataque, procedente del motor, atravesaba el alerón de menor tamaño de una manera transversal hasta la posición del eje secundario.

Para este mecanismo se había utilizado la tapa de aluminio comentada en el apartado de *Diseño de alerones móviles* que contiene el agujero circular por donde se ha hecho pasar el eje motor hasta hacerla llegar al eje de rotación.

En cuanto a los engranajes diseñados, son de módulo 0,7, contienen 17 dientes rectos, 10 mm de diámetro primitivo y 5 mm de diámetro interior y son de acero inoxidable.

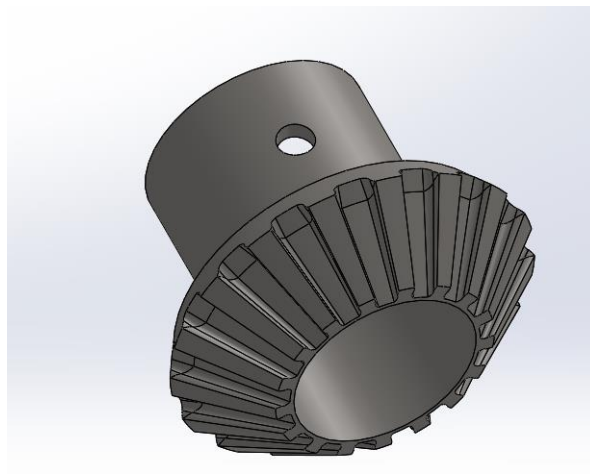
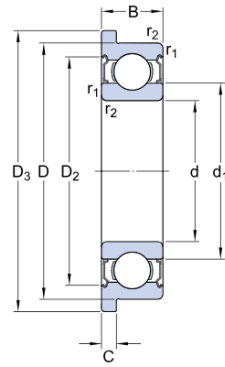


Ilustración 127: Diseño CAD de los engranajes cónicos

Los rodamientos utilizados son de la marca **SKF™**, concretamente el modelo **WBB1-8705R-2Z** e irán alojados en el eje que atraviesa transversalmente el alerón de menor tamaño. A continuación se muestran sus dimensiones:

Dimensiones



d	5	mm
D	10	mm
B	4	mm
d ₁	≈ 6	mm
D ₂	≈ 8.4	mm
r _{1,2}	min. 0.15	mm

Ilustración 128: Dimensiones del rodamiento de bolas de SKF™ WBB1-8705R-2Z

(<https://www.skf.com/es/index.html>)

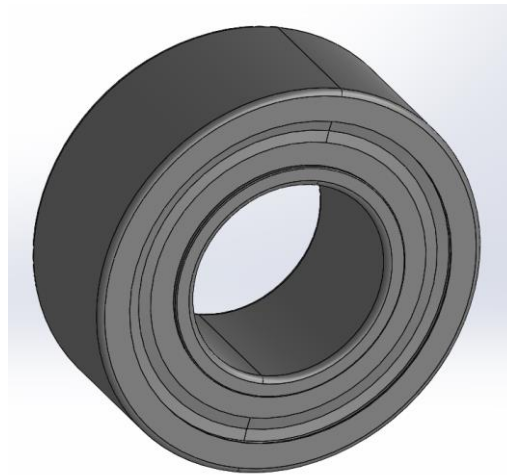


Ilustración 129: Diseño CAD del rodamiento SKF™ WBB1-8705R-2Z

El eje de rotación es de 5 mm de diámetro y tiene una forma curva en el extremo donde se une con el borde de entrada para provocar una mejor fluidez del aire a su paso por él. En el otro extremo, se ancla al alerón.

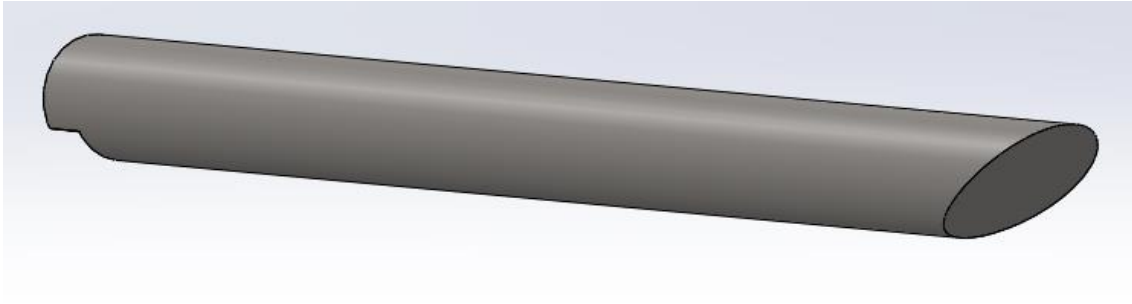


Ilustración 130: Eje de rotación del alerón móvil

El eje motor es, únicamente un eje cilíndrico de 5 mm de diámetro.

Los soportes del alerón de mayor tamaño son de sección rectangular, con un redondeo en sus bordes y en su extremo son de forma circular para alojar el eje de rotación.

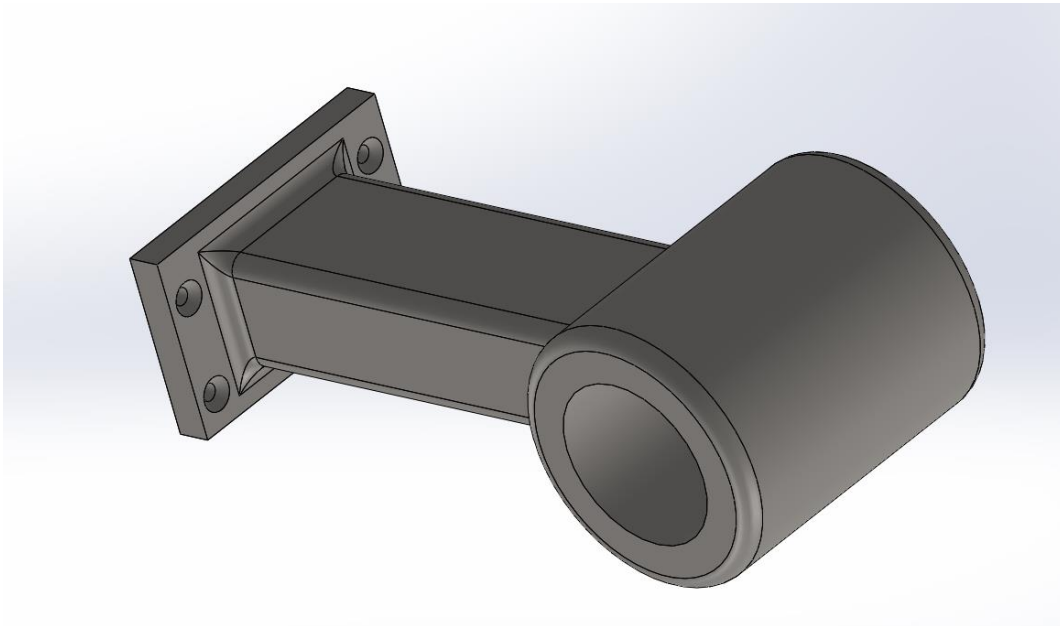


Ilustración 131: Soporte del alerón móvil

En resumen, el conjunto de piezas que formaban el mecanismo eran las siguientes:

- Servomotor Hitec™ Multiplex D980TW.
- Dos engranajes cónicos de módulo 0,7, 17 dientes y 10 mm de diámetro primitivo.
- Dos soportes del eje de rotación del alerón móvil.
- Dos rodamientos SKF™ WBB1-8705R-2Z.

- Dos ejes de 5 mm de diámetro colocados a 90°.

A continuación se muestran las imágenes capturadas del programa SolidWorks™ para un correcto entendimiento del mecanismo formado:

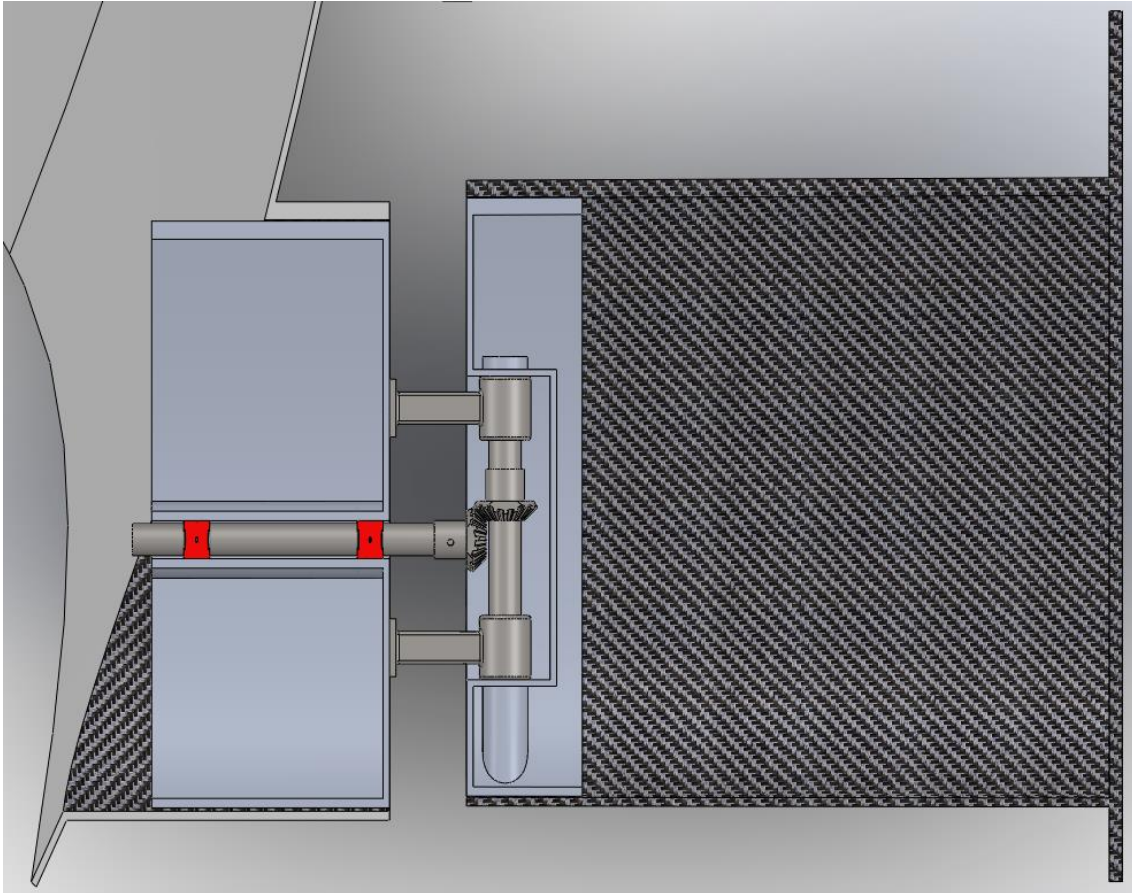


Ilustración 132: Vista en planta del mecanismo de engranajes encargado de rotar el alerón móvil

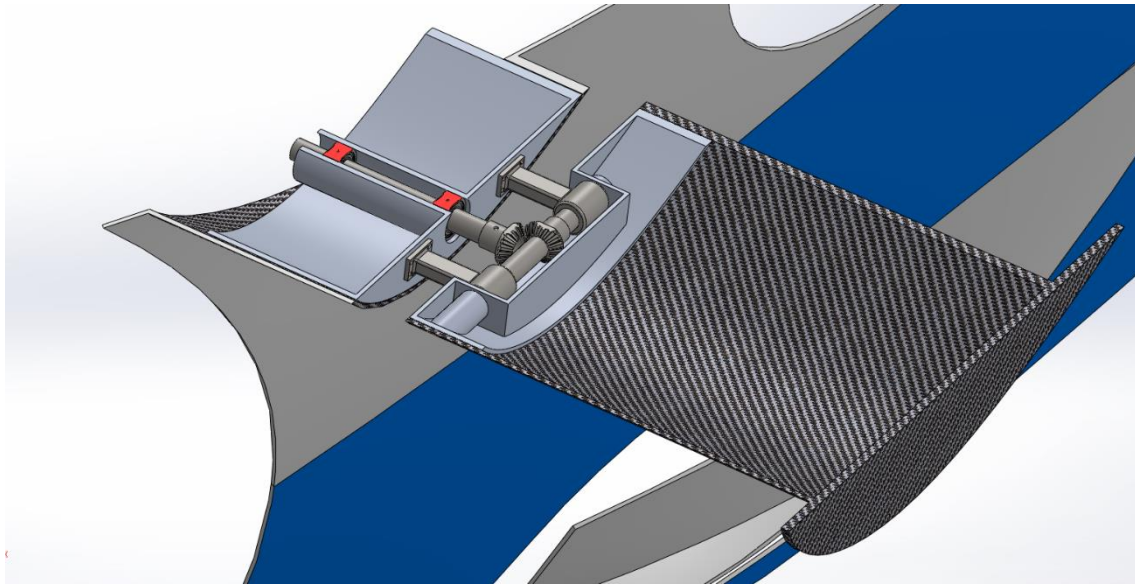


Ilustración 133: Vista de sección del mecanismo de engranajes encargado de rotar el alerón móvil

10.2. MECANISMO DE CORREA

Dado que el mecanismo de engranajes tiene la complicación de la utilización de engranajes cónicos en un espacio muy reducido, se ha pensado un segundo mecanismo optimizado que sea capaz de generar el mismo trabajo y que funcione de manera satisfactoria con un número de elementos menor.

Para transmitir el movimiento de rotación del eje del motor al eje de rotación, se ha decidido utilizar una correa dentada usada para la creación de impresoras 3D ya que este tipo se caracteriza por su reducido tamaño, aspecto positivo para nuestro diseño. De esta manera, el eje motor, que en el primer mecanismo atravesaba todo el alerón, se ha podido suprimir ya que, en este diseño de mecanismo, el motor se ha situado en posición transversal y no longitudinal como en el de engranajes. Para poder transmitir la rotación al eje del alerón, se han utilizado dos poleas GT2 de 5 mm de diámetro interior, también usadas en el mundo de la impresión 3D, y que son de unas dimensiones muy reducidas y cumplen con los requisitos.

Otro motivo por el cual se ha decidido finalmente este mecanismo, ha sido que se eliminan varias fuerzas producidas en el eje de rotación por los engranajes cónicos ya

que la correa genera, únicamente, fuerzas radiales al eje y no axiales y transversales como los engranajes cónicos.

En resumen, las piezas que forman este mecanismo son las siguientes:

- Servomotor Hitec™ Multiplex D980TW.
- Correa GT2 – 6mm de la empresa Createc 3D™ (142,6 mm)
- Dos poleas GT2 de 5 mm de diámetro interior de Createc™ 3D (27 dientes)
- Dos soportes del eje de rotación del alerón móvil.

Para este mecanismo se ha utilizado la tapa de aluminio comentada en el apartado de *Diseño de alerones móviles* que contiene la ranura por donde se ha hecho pasar la correa hasta hacerla llegar al eje de rotación.

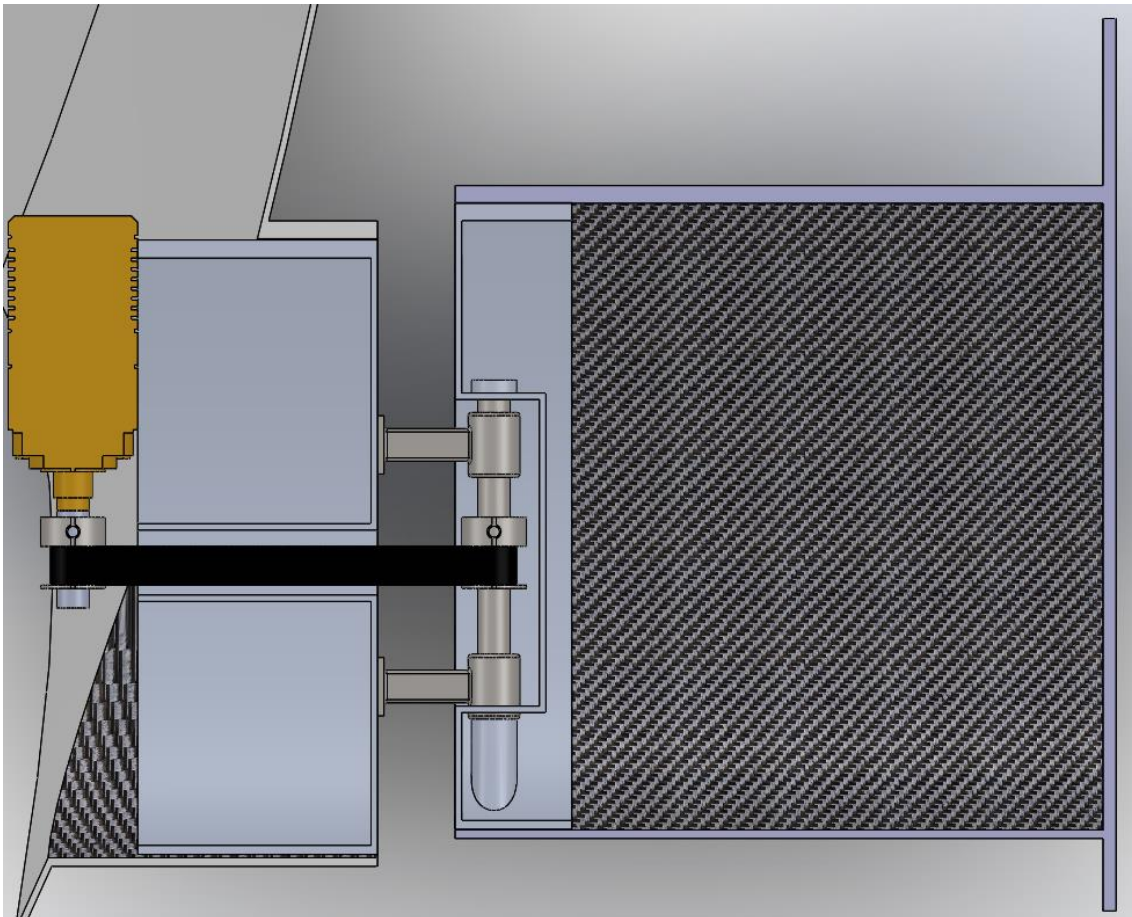


Ilustración 134: Vista en planta del mecanismo de correa encargado de hacer rotar el alerón móvil

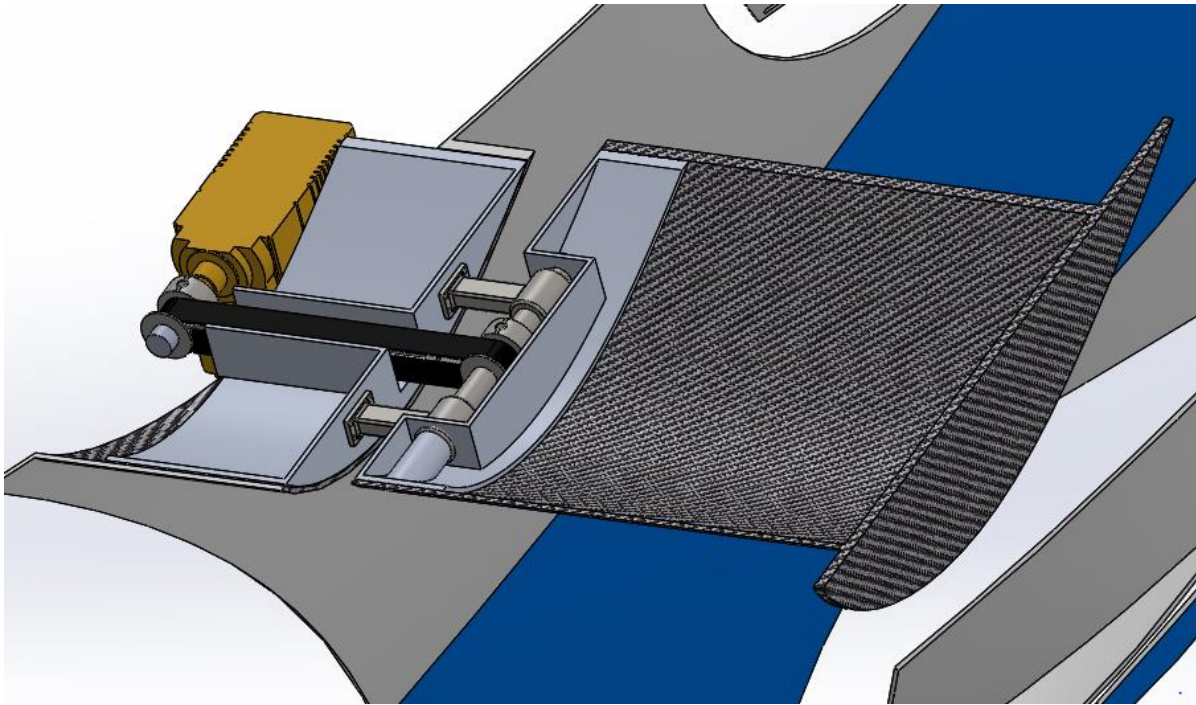


Ilustración 135: Vista de sección del mecanismo de correa encargado de hacer rotar el alerón móvil

A continuación se muestra un estudio de cargas estáticas realizado mediante *ANSYS™ Workbench* de los soportes y del eje de rotación para ver su comportamiento frente a las tensiones provocadas por el mecanismo. Se han determinado las siguientes cargas:

- Carga producida por la correa

$$Par\ motor = 4,32\ Nm$$

$$F_{CORREA} = \frac{Par\ motor}{radio\ polea} = \frac{4,32\ Nm}{0,003\ m} = 1440\ N$$

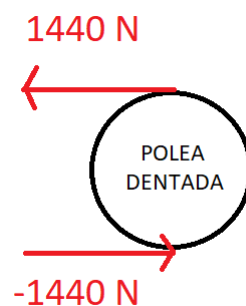


Ilustración 136: Diagrama de fuerzas de la correa en la polea del eje de rotación

- Carga producida por el *downforce* y el peso del alerón

$$\text{Downforce} = 84,05 \text{ N}$$

$$W_{\text{ALERÓN MÓVIL}} = 2,2 \text{ N}$$

$$F_{\text{ALERÓN}} = 86,25 \text{ N}$$

Una vez introducidas las condiciones de contorno en el programa, se ha procedido a elegir el material. Como los componentes a estudiar estarían expuestos a las condiciones climatológicas, se ha decidido elegir como material acero inoxidable. El programa ANSYS nos ha proporcionado los siguientes datos acerca de este material:

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	7750	kg m ⁻³		
3	Isotropic Elasticity				
4	Derive from	Young's Mod...			
5	Young's Modulus	1.93E+11	Pa		
6	Poisson's Ratio	0.31			
7	Bulk Modulus	1.693E+11	Pa		
8	Shear Modulus	7.3664E+10	Pa		
9	Bilinear Isotropic Hardening				
10	Yield Strength	2.1E+08	Pa		
11	Tangent Modulus	1.8E+09	Pa		
12	Specific Heat	480	J kg ⁻¹ C ⁻¹		

Ilustración 137: Propiedades mecánicas del acero inoxidable (ANSYS)

Posteriormente, se han obtenido los resultados de deformaciones en los 3 ejes, la deformación y la *Equivalent Static Strain*:

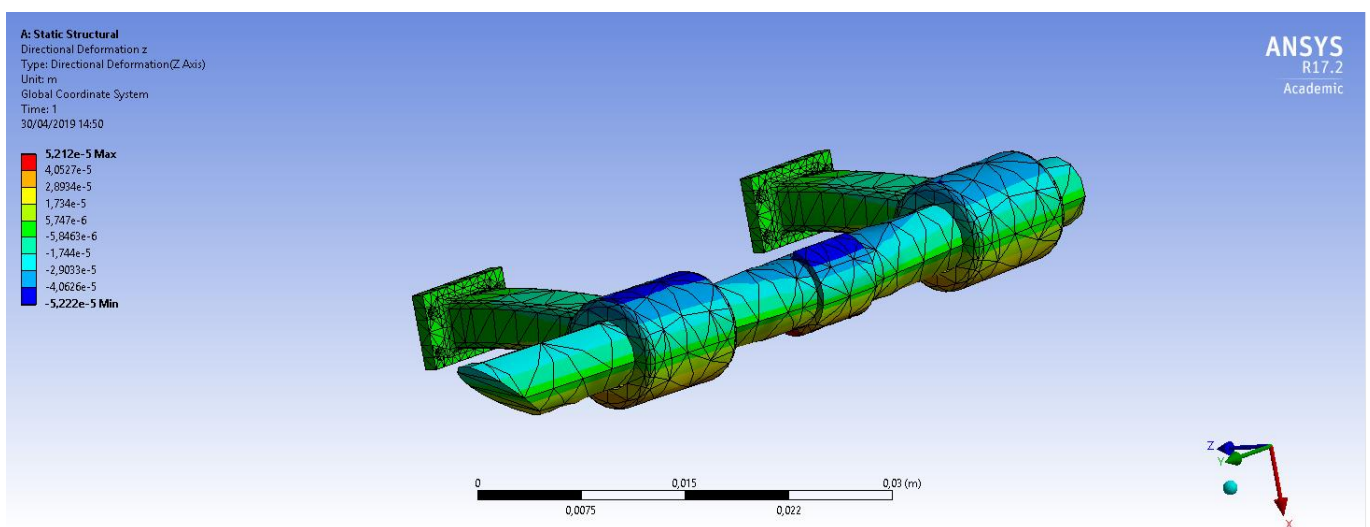
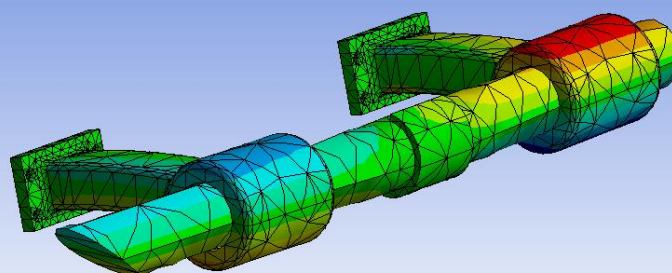


Ilustración 138: Deformación en el eje Z

ANSYS
R17.2
Academic

A: Static Structural
Directional Deformation y
Type: Directional Deformation(Y Axis)
Unit: m
Global Coordinate System
Time: 1
30/04/2019 14:50

3,6784e-6 Max
2,8585e-6
2,0385e-6
1,2186e-6
3,9863e-7
-4,2131e-7
-1,2413e-6
-2,0612e-6
-2,8811e-6
-3,7011e-6 Min



0 0,0075 0,015 0,022 0,03 (m)

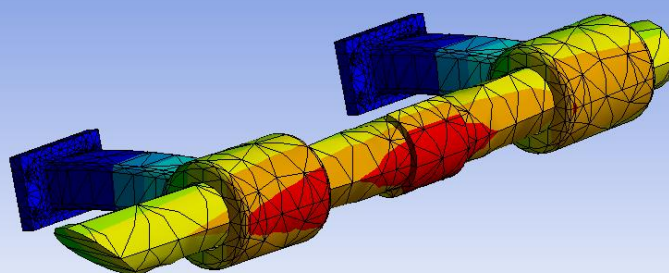


Ilustración 139: Deformación en el eje Y

ANSYS
R17.2
Academic

A: Static Structural
Directional Deformation x
Type: Directional Deformation(X Axis)
Unit: m
Global Coordinate System
Time: 1
30/04/2019 14:50

0,00016813 Max
0,00014943
0,00013073
0,00011203
9,3324e-5
7,4621e-5
5,5919e-5
3,7216e-5
1,8514e-5
-1,8891e-7 Min



0 0,0075 0,015 0,022 0,03 (m)

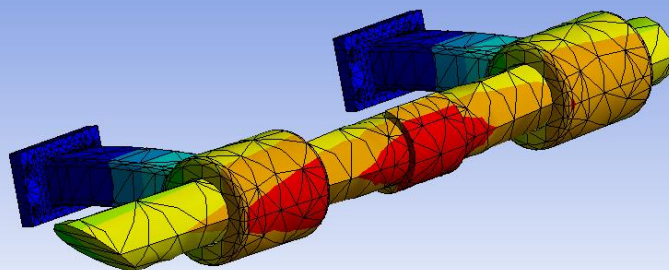


Ilustración 140: Deformación en el eje X

ANSYS
R17.2
Academic

A: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: m
Time: 1
30/04/2019 14:49

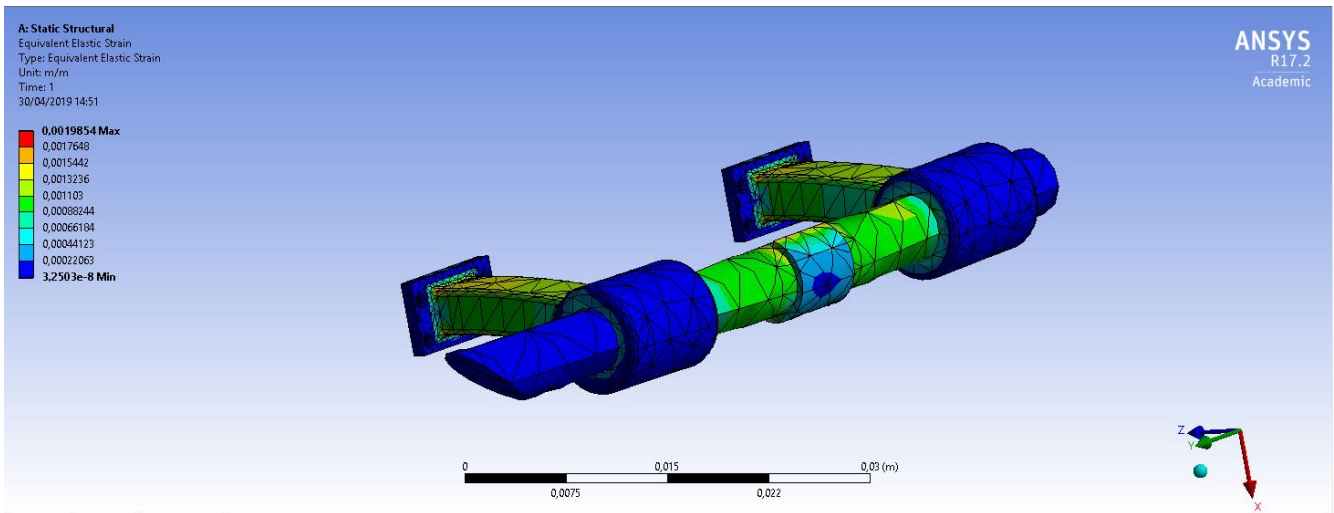
0,00016813 Max
0,00014945
0,00013077
0,00011209
9,3408e-5
7,4726e-5
5,6045e-5
3,7363e-5
1,8682e-5
0 Min



0 0,0075 0,015 0,022 0,03 (m)



Ilustración 141: Deformación total



Il·lustració 142: Equivalent Elastic Strain

Posteriormente, se ha realizado un análisis de los resultados de deformaciones.

- **Deformaciones en el eje Z:** no se producen grandes deformaciones, produciéndose el máximo en la zona inferior del eje y de los soportes con un valor de $5,212 \cdot 10^{-5}$ m.
- **Deformaciones en el eje Y:** en este eje tampoco se producen grandes deformaciones y, las obtenidas se pueden considerar aceptables. La zona de máxima deformación se encuentra en el soporte derecho de la imagen, donde se haya un valor de $3,678 \cdot 10^{-6}$ m.
- **Deformaciones en el eje X:** ya por último, en el eje X se encuentran las máximas deformaciones, encontrando un valor máximo de 0,000168 m en la parte delantera del eje y de los soportes. Aunque es el valor más alto de los tres ejes, se puede seguir considerando un valor aceptable.
- **Deformaciones totales:** en esta figura se encuentra un resultado idéntico al de las deformaciones en el eje X, produciéndose un valor máximo de 0,000168 m en la misma zona que en el eje X.

- **Equivalent Static Strain:** se producen valores muy bajos durante toda la región estudiada, por lo tanto, se puede afirmar que ambas piezas soportan sin ningún problema los esfuerzos a los que están sometidos. El valor máximo obtenido es de 0,0019.

11. SISTEMA ELECTRÓNICO

Para leer el ángulo de giro de la moto y transmitírselo al motor paso a paso, se ha decidido diseñar un sistema electrónico formado por varios elementos que se encargarán de hacer una lectura correcta y precisa.

Después de analizar otras opciones, descartar el motor paso a paso y escoger finalmente el servomotor, se ha tenido la necesidad de pensar un sistema que permitiese hacer la lectura del ángulo de inclinación de la moto.

Se ha optado por un giroscopio de 3 ejes. Este instrumento es capaz de medir la velocidad de rotación de un objeto por lo que, en nuestro caso, se ha utilizado como sensor para leer la velocidad de la variación del ángulo de inclinación de la moto. Posteriormente, se ha decidido usar también una placa Arduino UNO capaz de controlar la señal producida por el sensor y transmitírsela al servomotor. Este sistema tiene varias ventajas respecto al anterior como por ejemplo la reducción de elementos encargados de la lectura y la simplificación del conexionado entre componentes.

A continuación se expone la lista de elementos que forman el sistema final:

- Giroscopio de 3 ejes MPU-6050
- Placa Arduino UNO
- Servomotor Hitec™ Multiplex D980TW



Ilustración 143: Giroscopio de 3 ejes MPU-6050

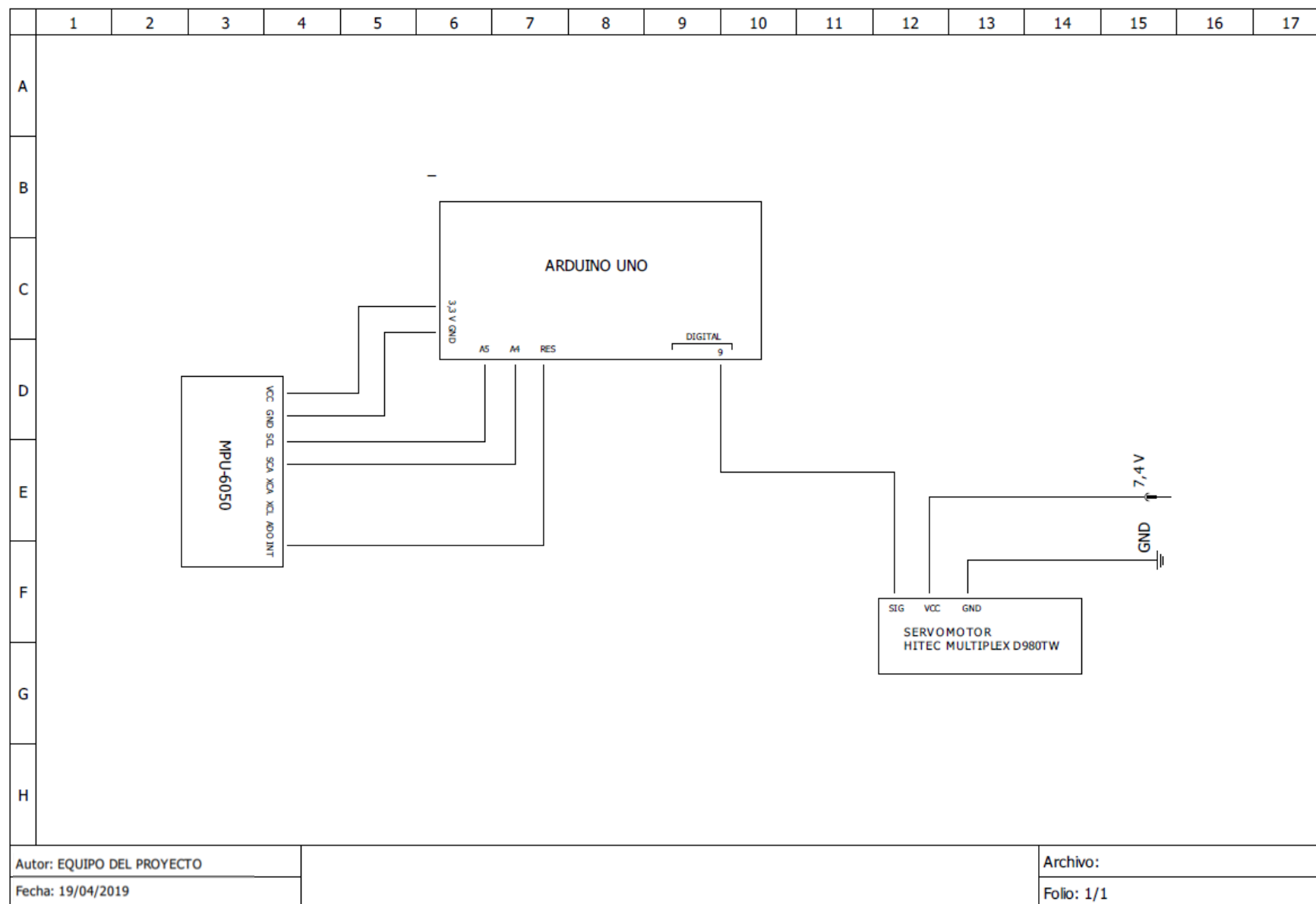
(<https://www.makerelectronico.com/>)



Ilustración 144: Controlador Arduino UNO

(<https://www.xataka.com/>)

Para finalizar, se expone el esquema de conexiones del sistema electrónico:



12. FABRICACIÓN DE LOS ALERONES

La fabricación de este tipo de piezas resulta muy costosa económicamente ya que se precisa de un molde realizado a medida exacta para la pieza y el material utilizado, la fibra de carbono, no es tampoco barata.

Pese a ello, se ha realizado un estudio acerca de los procesos que serían necesarios y la cantidad de material que se precisaría.

En primer lugar, y como se ha dicho anteriormente, se debería fabricar un molde a medida en el cual se colocarían las capas de fibra necesarias. Para saber la cantidad de fibra que se necesita, se ha procedido a escoger un modelo comercial, y este ha sido el TEJIDO CARBONO HEX 469 1K 93g/m² que tiene 0,2 mm de espesor por lámina, de la empresa RESINECO. Después de saber el tipo de fibra, se ha procedido a calcular las capas de material necesarias para fabricar cada parte del alerón.

Antes de especificar las capas, es necesario decir que la manera de fabricar estas piezas sería mediante el método de vaciado, el cual se explica a continuación:

Este proceso de fabricación se basa en la superposición de las capas de fibra de carbono sin necesidad de adhesivos entre capas, sino que una vez puestas las capas necesarias, se añade un spray de fijación, después, se añade un film perforado y una malla de drenaje y a posteriori una serie de distribuidores de la resina de epoxi. Una vez instalado todo el conjunto, se sella todo mediante la bolsa de sellado y el tacky tape (masilla de sellado).

Volviendo al número de capas necesarias, en este caso se utilizarían cinco para el alerón que formarían el milímetro de espesor y diez para el *endplate*, el cual es de 2 mm.

Una vez sabidas las capas, es necesario saber la superficie de lámina a utilizar. En nuestro caso, el alerón es de 0,069 m², por dos alerones, hacen un total de 0,138 m² por capa. En el caso del *endplate*, el total de ambos forman un total de 0,033 m².

Conociendo la superficie y las capas, se procede al cálculo del área total de lámina de fibra de carbono necesaria para la fabricación de ambos alerones:

$$S_{TOTAL} = 0,138 \cdot 10 + 0,033 \cdot 20 = \mathbf{2,04\ m^2}$$

Como el distribuidor RESINECO vende por metros cuadrados, serían necesarios 3 m² de material para poder fabricar los alerones móviles.

13. CONCLUSIONES

La idea inicial sobre el comportamiento de este tipo de elementos aerodinámicos era que al inclinarse con la moto, su comportamiento se viese afectado al provocar una fuerza de componente horizontal dirigida al exterior de la curva, este fenómeno se debía producir a causa de que, en los perfiles alares, la fuerza que produce el fluido que recorre su geometría es perpendicular al plano normal del alerón y, por lo tanto, al variar éste su ángulo, se vería modificado también el ángulo de la fuerza producida por el fluido.

Después de obtener los resultados de las simulaciones y de haberlos estudiado se puede llegar a la conclusión de que la idea inicial que se tenía se cumple. Se puede apreciar que a medida que la moto se encuentra con un mayor ángulo de inclinación, más aumenta la fuerza de componente horizontal (Fuerza contraria a la curva) provocando así una fuerza que tiende a desplazar la moto hacia fuera de la curva, hecho que perjudica de manera significativa al rendimiento del conjunto de la máquina y provoca una obligación de disminuir la velocidad de paso por la misma curva. Por otro lado, y de una manera lógica, a medida que aumenta la fuerza horizontal con el ángulo de inclinación, se reduce la fuerza vertical (*Downforce*). Este hecho también es perjudicial para el comportamiento ya que provoca una reducción del apoyo sobre el tren delantero de la moto generado por estos elementos.

Con los resultados obtenidos en las simulaciones de alerones móviles en cambio, se consigue el objetivo principal de este proyecto, ya que se elimina en gran medida la fuerza contraria a la curva y por lo tanto se consiguen mejoras en el comportamiento de la moto.

En cuanto a los valores recogidos en el estudio y simulación en 3D, se puede ver que cuando la moto se encuentra en posición vertical, los resultados son menores a los valores obtenidos en el cálculo 2D dando una idea de que, como se ha comentado anteriormente, los factores externos al alerón o la variación en la geometría comprometen su rendimiento.

El mayor cambio se aprecia cuando situamos la moto en una posición de giro en las simulaciones, en ese caso la fuerza de *downforce* al cuadrado sumada con la contraria a

la curva, también al cuadrado, se reduce ostensiblemente comparada con la que se produce con la máquina en una posición vertical a una misma velocidad. Este hecho se produce ya que al colocar la moto con una cierta inclinación respecto al eje vertical, el aire que atraviesa la geometría de las placas y carenados recorre una trayectoria distinta a cuando ésta está recta, produciendo que el aire llegue de una manera menos eficiente al conjunto del alerón y disminuyendo de esa manera su rendimiento. Este fenómeno es inevitable en este tipo de vehículos ya que su manera de producir un giro es imposible de cambiar y por lo tanto es un hecho que se ha debido aceptar.

En cuanto al diseño de elementos mecánicos y electrónica, se añade complejidad en el sistema de alerones móviles ya que se requiere de un mecanismo y una electrónica adicional que anteriormente los alerones no llevaban por lo que convierte la parte aerodinámica de la moto en más compleja a la hora de diseñarla y estudiarla.

Como conclusión final, se puede afirmar que el nuevo sistema provocaría un mejor rendimiento del conjunto de alerones debido a que no produciría grandes fuerzas transversales y mantendría en gran medida el *downforce* respecto al sistema de alerones fijos pero eleva en gran medida la complejidad del diseño del sistema aerodinámico en general, tanto a nivel mecánico como electrónico.

ANÁLISIS ECONÓMICO

En este apartado se detallan los costes de realización del proyecto.

Se muestran los costes de fabricación de algunas de las piezas diseñadas, del mecanismo de correa y del sistema electrónico.

El valor de importe/hora de fabricación de las piezas metálicas estipulado en la siguiente tabla corresponde a la empresa Tallers Malats S.L., mientras que el precio del material para la fabricación de los alerones corresponde a la empresa RESINECO.

PRESUPUESTO

MATERIALES Y FABRICACIÓN

FIBRA DE CARBONO	UNIDADES	CAPAS DE MATERIAL/PIEZA	TOTAL SUPERFICIE DE MATERIAL	IMPORTE UNITARIO	IMPORTE TOTAL
Alerón móvil (1mm de espesor)	2 ud.	5 capas	1,38 m2	-	-
Endplate (2 mm de espesor)	2 ud.	10 capas	0,66 m2	-	-
TOTAL FIBRA DE CARBONO DEMANDADA			3 m2	64,78 €/m2	194,34 €
Drenaje complex	-	-	2 m2	5,10 €/m2	10,20 €
Film perforado	-	-	2 m2	0,65 €/m2	1,30 €
Tacky tape	1 ud.	-	-	7,62 €/ud.	7,62 €
Válvulo de bola reducida	1 ud.	-	-	10,62 €/ud.	10,62 €
Tensogrip	1 ud.	-	-	13,91 €/ud.	13,91 €
Tubo (manguera)	1 m	-	-	1,03 €/m	1,03 €
Resina de epoxi para infusión (1,5 kg)	1 ud.	-	-	31,23 €/ud.	31,23 €
Pack bomba de vacío composites	1 ud.	-	-	255,1 €/ud.	255,10 €
Horas de fabricación de los alerones completos	36 h	-	-	35 €/h	1.260,00 €

METALES (ACERO Y ALUMINIO)	UNIDADES	HORAS DE TRABAJO	IMPORTE UNITARIO	IMPORTE TOTAL
Tapa de aluminio del alerón móvil	2 ud.	2 horas	35 €/h	70,00 €
Tapa de aluminio del alerón fijo (correa)	2 ud.	2 horas	35 €/h	70,00 €
Mecanizado eje de rotación del alerón	2 ud.	1 hora	35 €/h	35,00 €
Soportes del eje de rotación	4 ud.	1 h 30 min	35 €/h	42,50 €

PIEZAS COMERCIALES

MECANISMO DE CORREA	UNIDADES	IMPORTE UNITARIO	IMPORTE TOTAL
Polea GT2 20 dientes 5mm	4 ud.	1,65 €/ud.	6,60 €
Correa GT2 6mm de ancho	285,2 mm	1,55 €/m	0,44 €

SISTEMA ELECTRÓNICO	UNIDADES	IMPORTE UNITARIO	IMPORTE TOTAL
Servomotor Hitec Multiplex D980TW	2 ud.	169,99 €/ud.	339,98 €
Controlador Arduino UNO	1 ud.	8,99 €/ud.	8,99 €
Giroscopio MPU-6050	1 ud.	2,5 €/ud.	2,50 €

TOTAL			2.361,36 €
-------	--	--	------------

ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL

Para poder dimensionar el impacto medioambiental que ha tenido el presente proyecto se deben tener cuenta varios factores. Durante los meses de realización del trabajo, se han utilizado dispositivos electrónicos que consumen electricidad y se han realizado desplazamientos en coche que consumen combustible.

Un aspecto positivo en cuanto a disminuir el impacto medioambiental es que, todos los estudios y simulaciones se han realizado mediante programas informáticos y no se han hecho ensayos físicos que pudiesen generar un aumento de consumo de energía como el túnel del viento, por ejemplo.

Para realizar el cálculo de emisiones generadas de los dispositivos electrónicos, se realiza un proceso basado en la obtención de energía eléctrica consumida para poder convertirla en kg de CO₂ emitidos. En primer lugar, es necesario saber esa cantidad de energía eléctrica que, en nuestro caso, se ha estimado de 1300 horas para los dos integrantes. Una vez conocido este valor, se debe obtener la energía eléctrica consumida en este tiempo multiplicado las 1300 horas por el consumo de potencia de los dispositivos utilizados. Como el proyecto se ha realizado en su totalidad mediante ordenador, se ha buscado el consumo medio de los distintos dispositivos y este es de 100 W, lo que a eso hay que añadirle el consumo de electricidad de la iluminación que se ha calculado de unos 240 W aproximadamente. Para saber la energía total utilizada en kwh, se ha multiplicado el consumo por las horas de uso:

$$E = P \cdot t = 1300 \cdot 340 = 442000 \text{ W} \cdot h = \mathbf{442 \text{ kw} \cdot h}$$

Por último, para conocer la emisión de kg de CO₂ se debe conocer un parámetro llamado factor de emisión. En nuestro caso, se ha usado la GUÍA PRÁCTICA PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI) de la Generalitat de Catalunya el factor de emisión obtenido es de **181 g CO₂/kwh**.

A continuación se calcula la cantidad de CO₂ emitida a la atmósfera por el consumo de energía eléctrica:

$$kg CO_2 = 442 \text{ kwh} \cdot 0,181 = \mathbf{80 \text{ kg } CO_2}$$

Como se ha comentado, se han realizado varios desplazamientos en coche hasta la universidad por lo que también deben calcularse dichas emisiones. Los vehículos utilizados para dichos trayectos y sus consumos medios han sido los siguientes:

- Peugeot 307 1.6 110 cv (2006), gasolina, emisiones de $CO_2 = 174 \text{ gr/km}$
- Toyota Auris 1.6 115 cv (2015), diésel, emisiones de $CO_2 = 108 \text{ gr/km}$

*Datos obtenidos del portal web <https://www.km77.com>

En total se estima se han recorrido un total de 1500 km aproximadamente y se estimará que cada uno de los coches ha recorrido la mitad de los km totales.

$$kg CO_2 = 0,174 \cdot 750 + 0,108 \cdot 750 = \mathbf{211,5 \text{ kg } CO_2}$$

Para finalizar, se suman ambos valores y se obtiene un valor total de **291,5 kg CO_2** emitidos a la atmósfera.

BIBLIOGRAFÍA

Julio Hernández Rodríguez, ETSII, Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid UNED, <https://www2.uned.es/ing-fluidos/IntroMF/node6.html> (2001).

D. Córdoba, “Las ecuaciones de Navier-Stokes I”, http://garf.ub.es/Milenio/img/Presentacion_Navier_Stokes.pdf.

Muñoz Navarro, Miguel Angel, <http://www.manualvuelo.com/PBV/PBV12.html>.

Christopher A. Lyon, Andy P. Broeren, Philippe Giguere, Ashok Gopalarathnam, and Michael S. Selig, “Summary of Low-Speed Airfoil Data Vol.3”.

McBeath, Simon (2005). “Aerodinámica del automóvil de competición”, CEAC.
Esteban Roncero, Sergio. “Cálculo de aviones”.

Hucho, Wolf-Heinrich (1990). “Aerodynamics of road vehicles: from fluid mechanics to vehicle engineering”.

Zabala, U. (2010) “Diseño y análisis aerodinámico de una motocicleta de competición”.

Houghton, E. L., Carpenter, P. W. , Collicott, S. , Valentine, D. (2012).
“Aerodynamics for Engineering Students” (5a edición), Butterworth Heinemann.

Zitnik, Juan. “Manual de vuelo del PIPER PA-11”.

Airfoiltools, <http://airfoiltools.com/>.

Ira H. Abbot, Albert E. Von Doenhoff. “Theory of wing sections” (1959).

330Ohms. <https://blog.330ohms.com/2016/03/14/que-son-los-servomotores/>.

Ingeniería Mecafenix. <https://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/motor-paso-a-paso/>.

Motor paso a paso.

http://www1.frm.utn.edu.ar/mielectricas/docs2/PaP/MOTOR_PaP_FINAL.pdf.

García-Cuevas González, Luis Miguel Carreres Talens, Marcos Tiseira Izaguirre, Andrés Omar. “Centro de presiones, centro aerodinámico y cuerda media aerodinámica”.

REPARTO DEL TRABAJO ENTRE LOS DOS INTEGRANTES DEL PROYECTO

A continuación se ha hecho una explicación de cómo se han repartido y realizado las tareas del proyecto.

Aunque es cierto que ambos integrantes del proyecto hemos realizado la mayor parte del trabajo de manera conjunta para poder comprender todos los puntos, hay algunos apartados donde alguno de los integrantes ha tenido más peso o ha dedicado más tiempo que el otro por motivos varios.

De todas maneras, ambos creemos que el reparto de trabajo ha sido siempre equitativo y amoldado a las posibilidades de cada uno, no habiendo ningún apartado donde solo un integrante haya realizado el trabajo completo.

APARTADO DEL PROYECTO	INTEGRANTE
1. OBJETO DEL PROYECTO	AMBOS
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	AMBOS
3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	AMBOS
4. AERODINÁMICA EN LAS MOTOCICLETAS	AMBOS
5. ELECCIÓN DE LA MOTOCICLETA	AMBOS
6. ELECCIÓN DE LOS ALERONES	AMBOS
7. ESTUDIO EN DOS DIMENSIONES (2D)	AMBOS
8. DISEÑO CAD DE LOS ALERONES	PABLO IGLESIAS FERRO
9. ESTUDIO EN TRES DIMENSIONES (3D)	AMBOS
10. MECANISMO DE ROTACIÓN DE LOS ALERONES	AMBOS
11. SISTEMA ELECTRÓNICO	JAIME RODRIGUEZ JIMENEZ
12. FABRICACIÓN DE LOS ALERONES	AMBOS
13. CONCLUSIONES	AMBOS
PLANOS	AMBOS
ANÁLISIS ECONÓMICO	AMBOS
ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL	AMBOS

ANEXO 1: IMÁGENES DE LAS SIMULACIONES DE LOS ALERONES

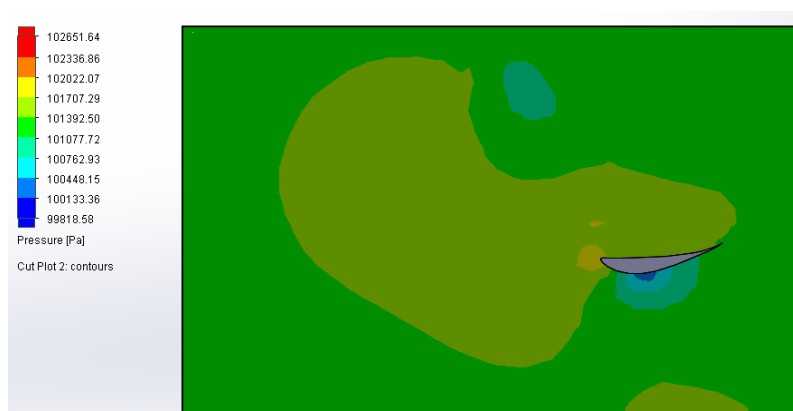
A continuació se mostren el rest de imàgines exportades del programa SolidWorks™ que no se han expuesto en la memoria y que se han obtenido durante las simulaciones del sistema de alerones fijos y móviles que se consideran importantes para la lectura de los resultados. Las capturas realizadas han sido en mayor medida de *Cut plots* y *Surface plots* ya que son las dos funciones que muestran el comportamiento tanto del aire a su paso por el alerón como del alerón a medida que recorre el medio.

1. ALERONES FIJOS

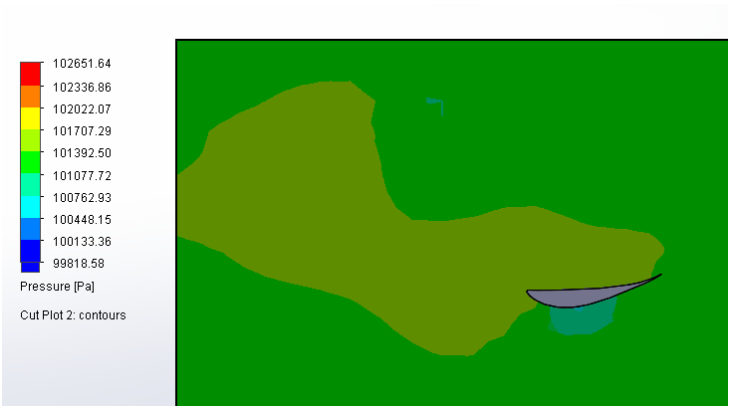
1.1. MOTO_F_0°



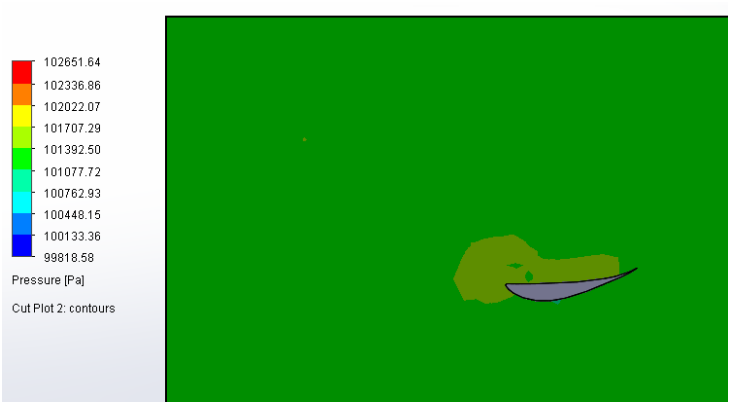
Il·lustració 145: Cut plot del sistema de alerones fijos a 0° a 250 km/h



Il·lustració 146: Cut plot del sistema de alerones fijos a 0° a 200 km/h

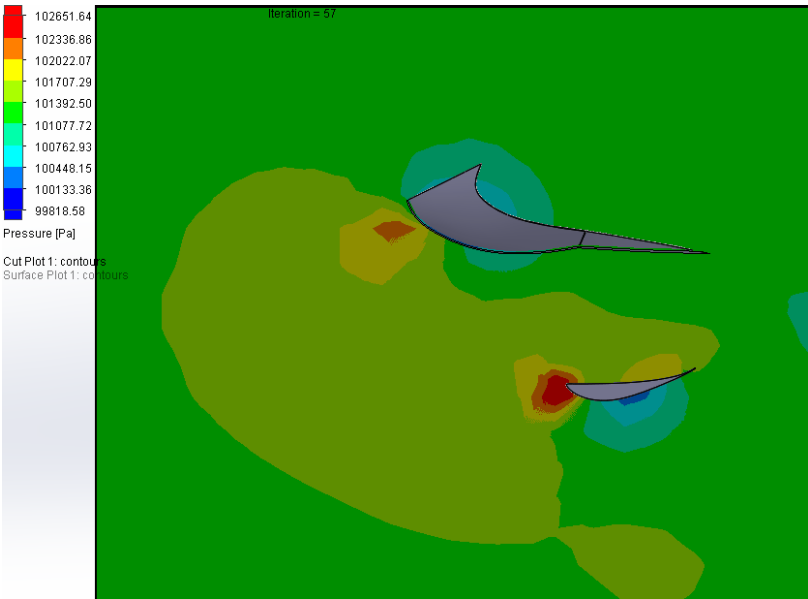


Il·lustració 147: Cut plot del sistema de alerons fijos a 0° a 150 km/h



Il·lustració 148: Cut plot del sistema de alerons fijos a 0° a 100 km/h

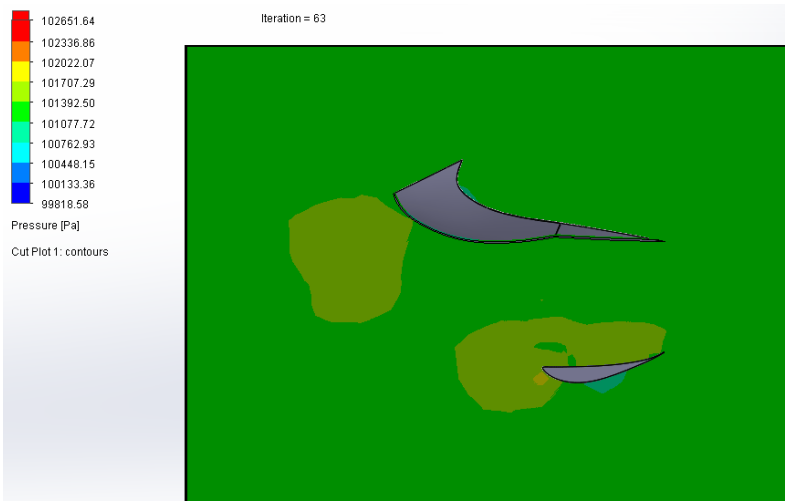
1.2. MOTO_F_10°



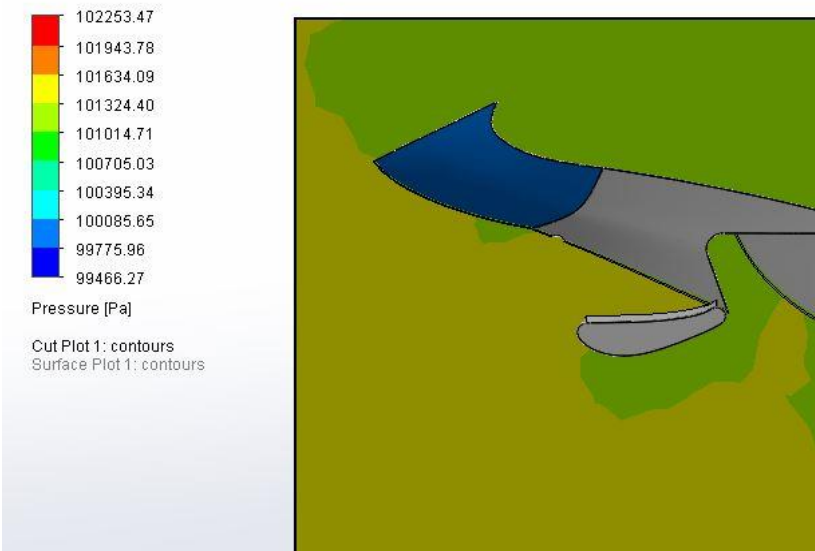
Il·lustració 149: Cut plot del sistema de alerons fijos a 10° a 250 km/h



Il·lustració 150: Cut plot del sistema de alerons fijos a 10° a 200 km/h



Il·lustració 151: Cut plot del sistema de alerones fijos a 10° a 150 km/h



Il·lustració 152: Cut plot del sistema de alerones fijos a 10° a 100 km/h

1.3. MOTO_F_20°



Ilustración 153: Cut plot del sistema de alerones fijos a 20° a 250 km/h

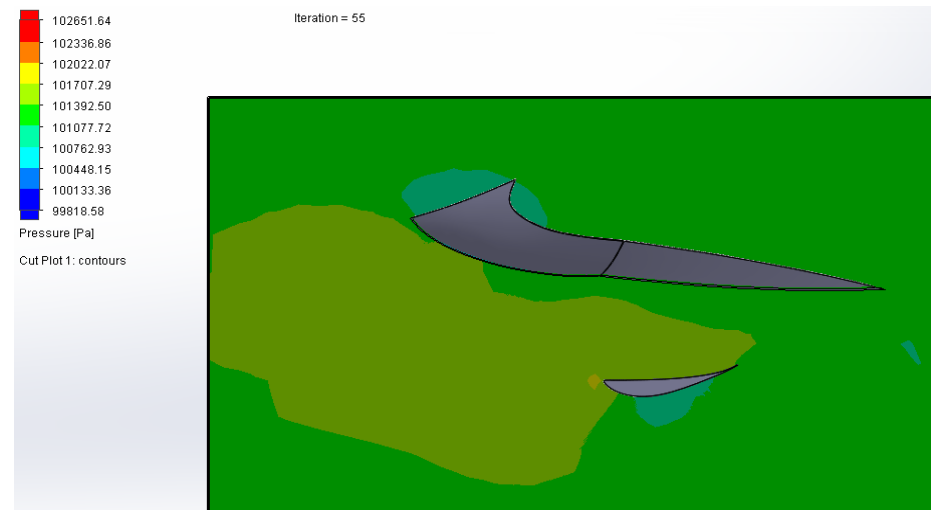
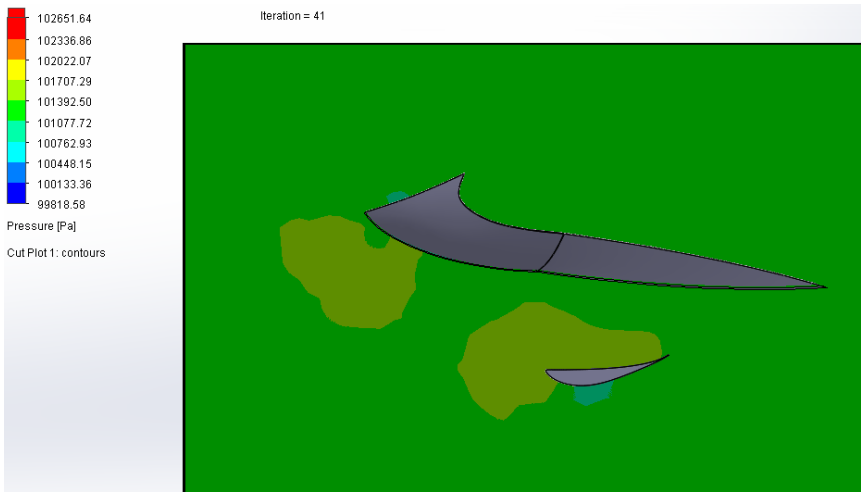
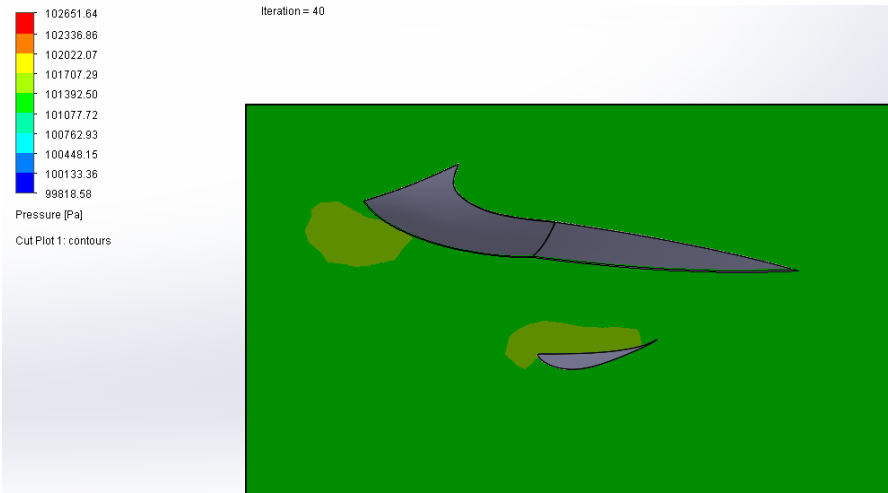


Ilustración 154: Cut plot del sistema de alerones fijos a 20° a 200 km/h

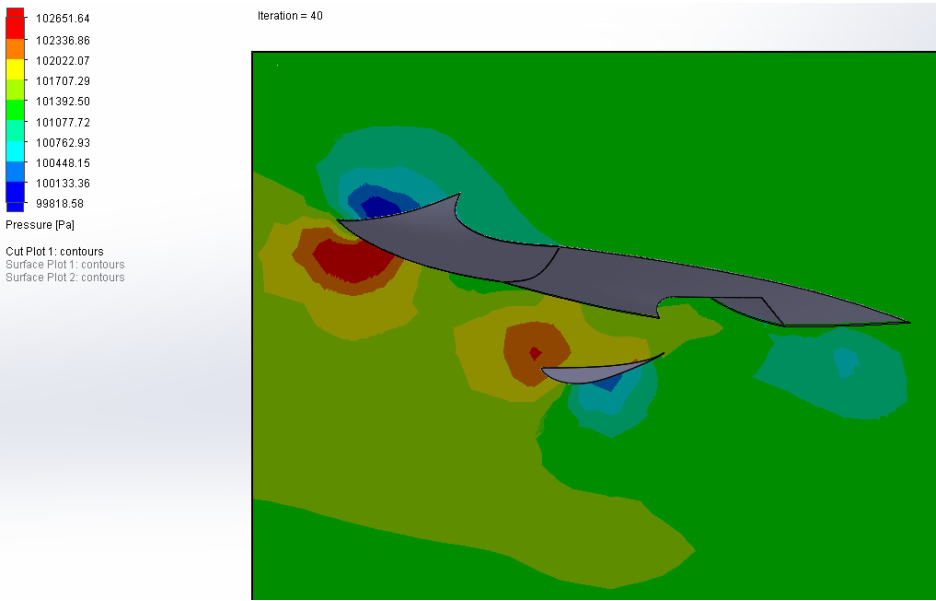


Il·lustració 155: Cut plot del sistema de alerons fijos a 20° a 150 km/h



Il·lustració 156: Cut plot del sistema de alerons fijos a 20° a 100 km/h

1.4. MOTO_F_30°



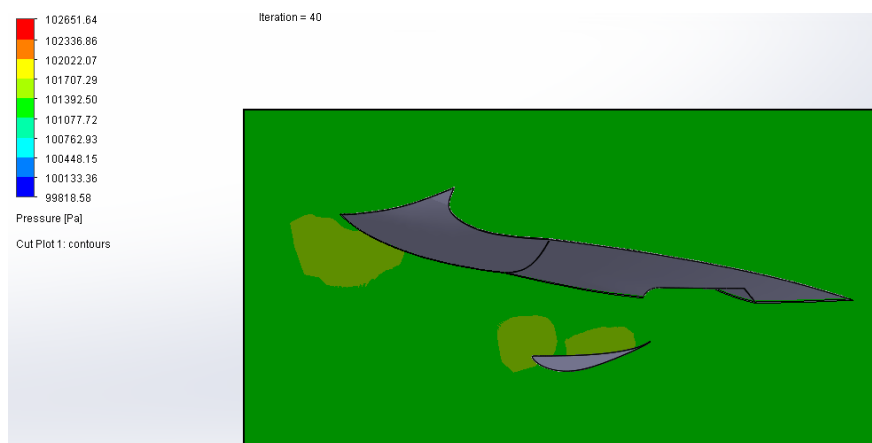
Il·lustració 157: Cut plot del sistema de alerons fijos a 30° a 300 km/h



Il·lustració 158: Cut plot del sistema de alerons fijos a 30° a 200 km/h



Il·lustració 159: Cut plot del sistema de alerones fijos a 30° a 150 km/h



Il·lustració 160: Cut plot del sistema de alerones fijos a 30° a 100 km/h

1.5. MOTO_F_40°

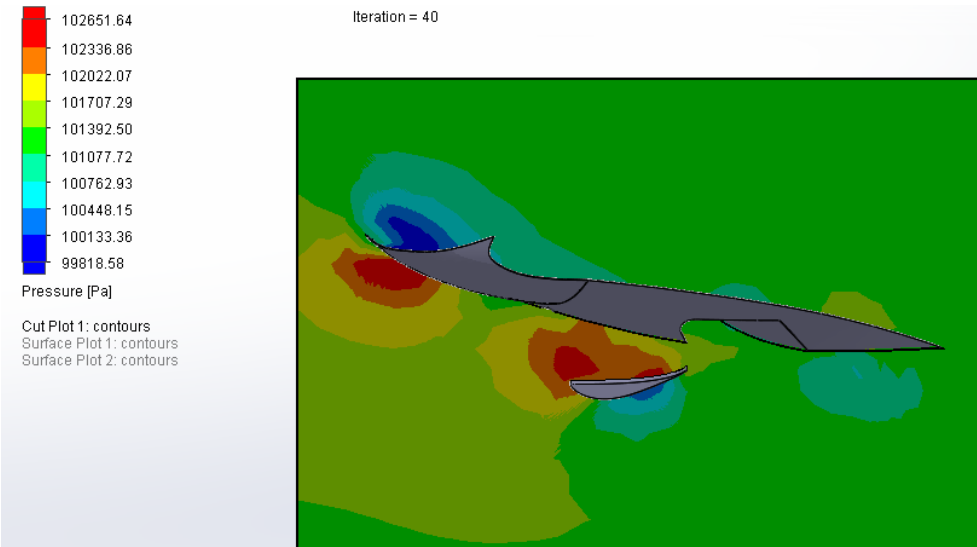


Ilustración 161: Cut plot del sistema de alerones fijos a 40° a 300 km/h

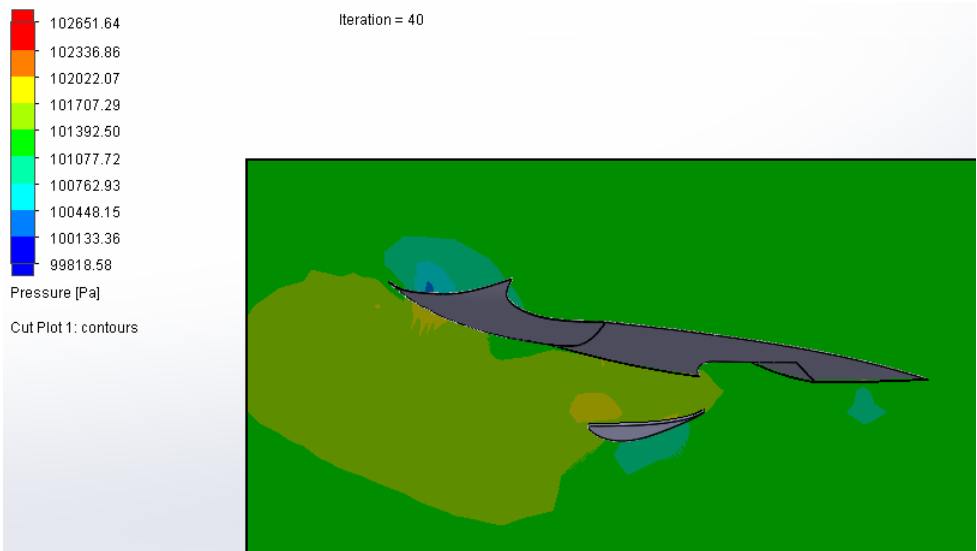
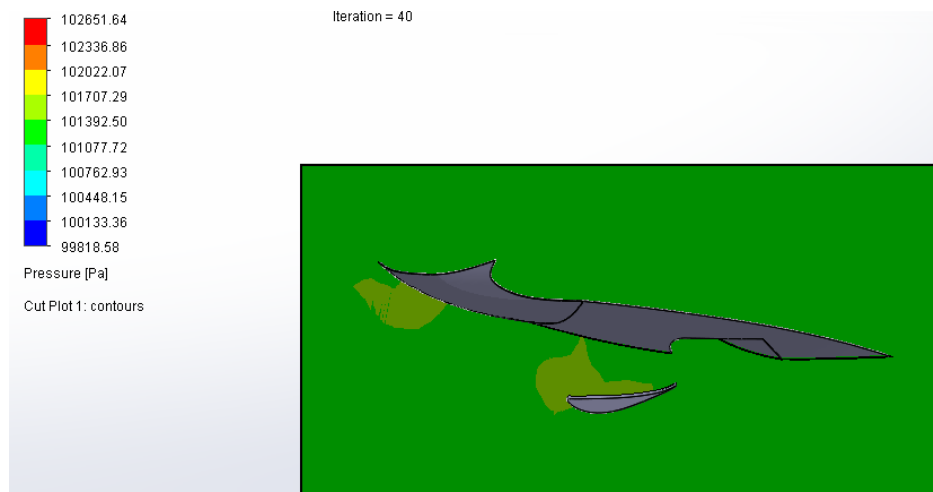


Ilustración 162: Cut plot del sistema de alerones fijos a 40° a 200 km/h

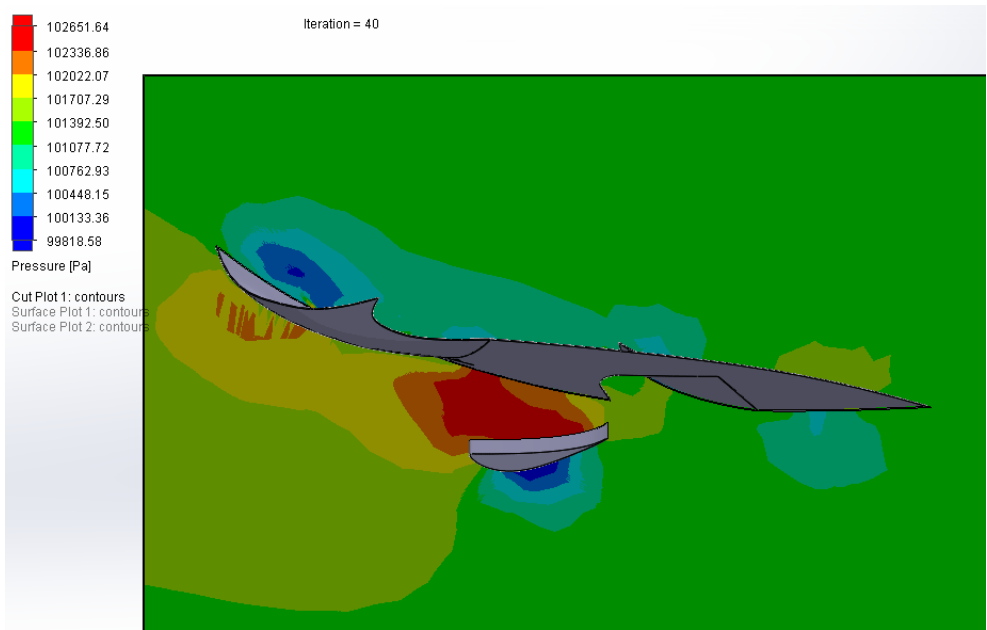


Il·lustració 163: Cut plot del sistema de alerones fijos a 40° a 150 km/h



Il·lustració 164: Cut plot del sistema de alerones fijos a 40° a 100 km/h

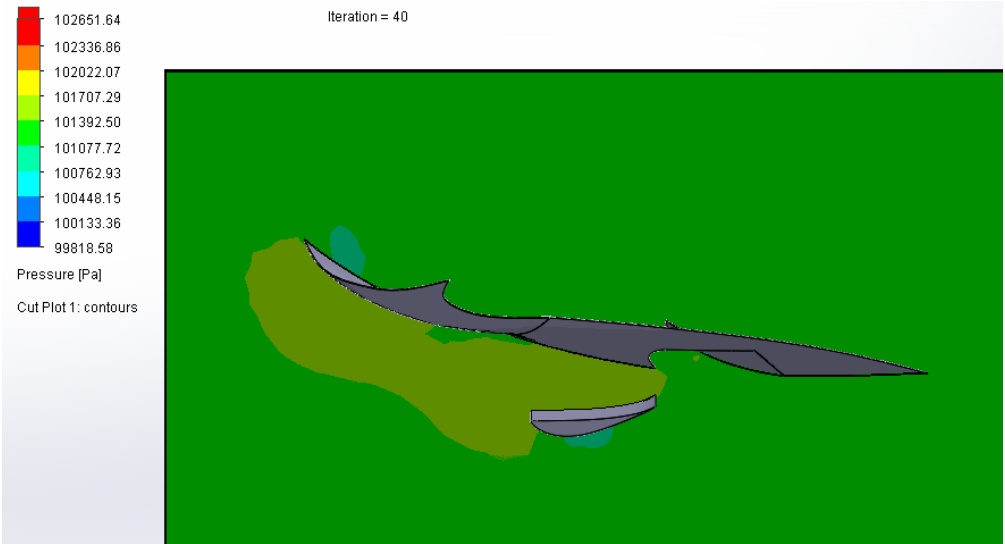
1.6. MOTO_F_50°



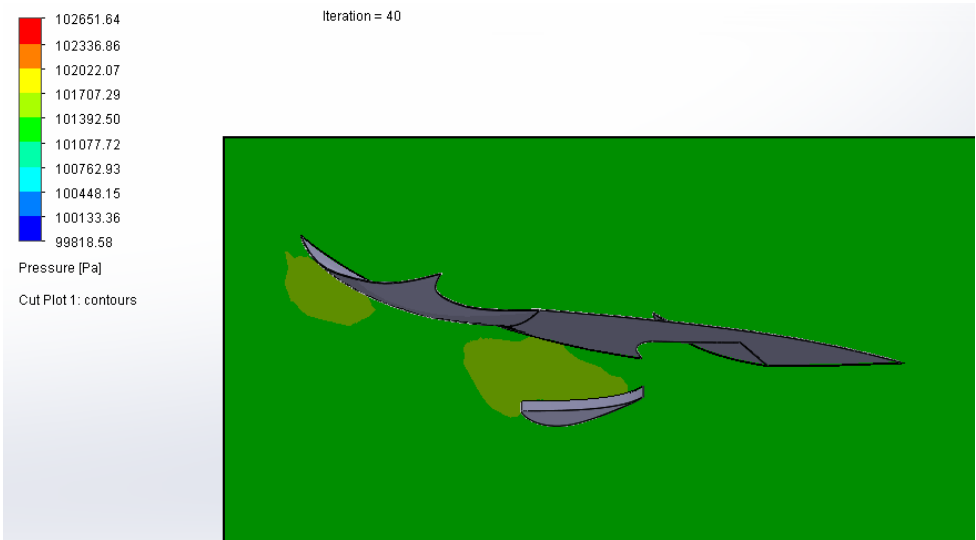
Il·lustració 165: Cut plot del sistema de alerons fijos a 50° a 300 km/h



Il·lustració 166: Cut plot del sistema de alerons fijos a 50° a 250 km/h



Il·lustració 167: Cut plot del sistema de alerons fijos a 50° a 150 km/h



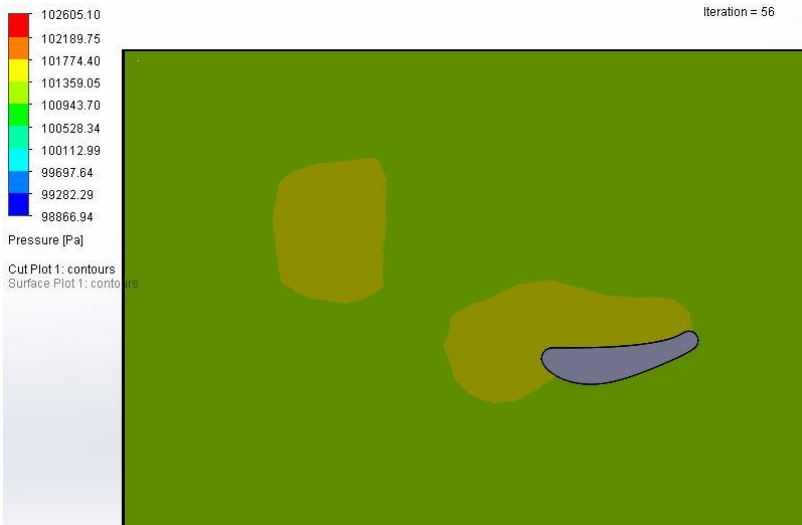
Il·lustració 168: Cut plot del sistema de alerons fijos a 50° a 100 km/h

2. ALERONES MÓVILES

2.1. MOTO_M_0°



Il·lustració 169: Cut plot del sistema de alerones mòvils a 0° a 200 km/h

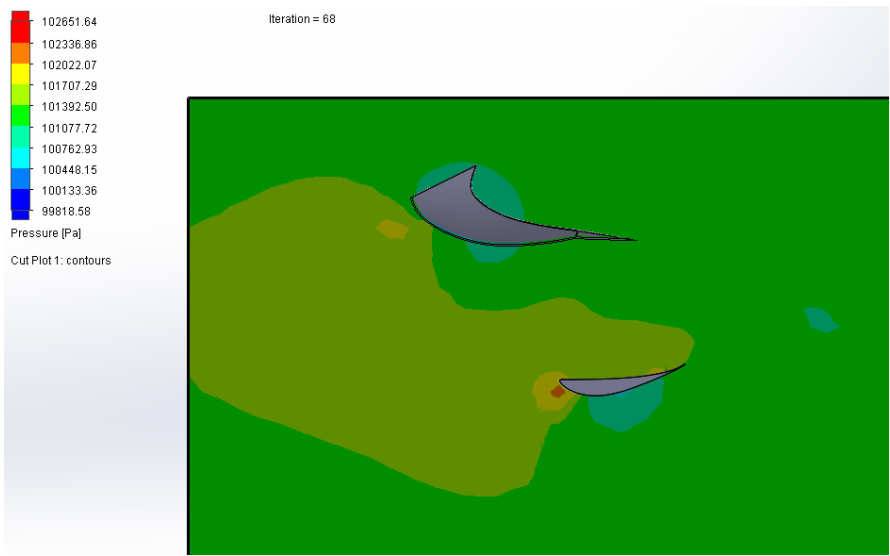


Il·lustració 170: Cut plot del sistema de alerones mòvils a 0° a 100 km/h

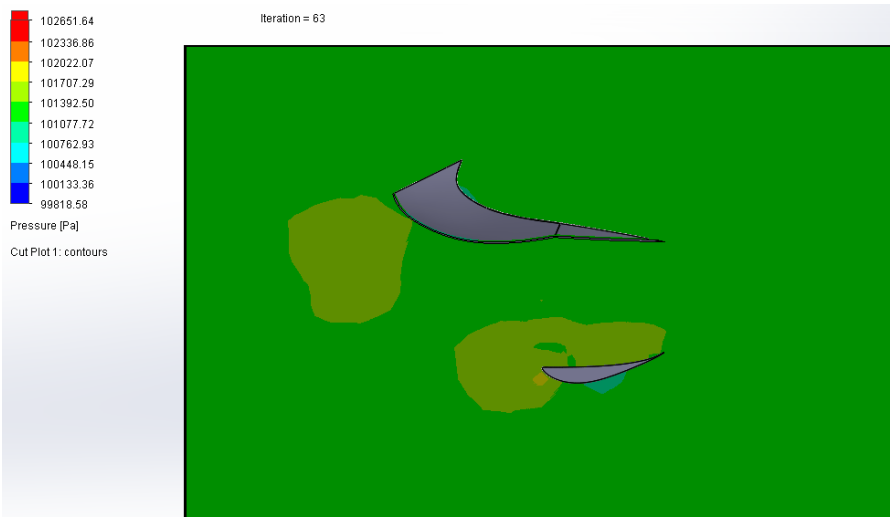
2.2. MOTO_M_10°



Il·lustració 171: Cut plot del sistema de alerons mòvils a 10° a 250 km/h



Il·lustració 172: Cut plot del sistema de alerons mòvils a 10° a 200 km/h



Il·lustració 173: Cut plot del sistema de alerons mòvils a 10° a 150 km/h



Il·lustració 174: Cut plot del sistema de alerons mòvils a 10° a 100 km/h

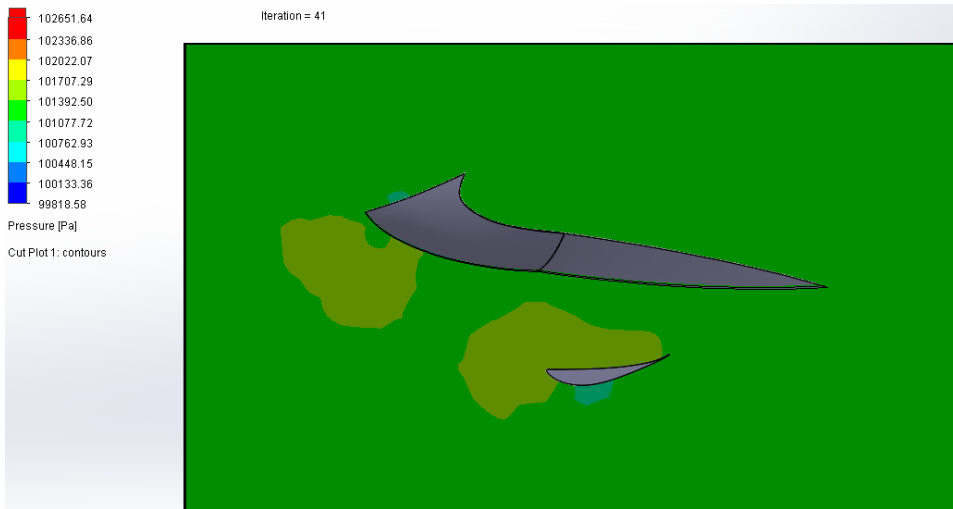
2.3. MOTO_M_20°



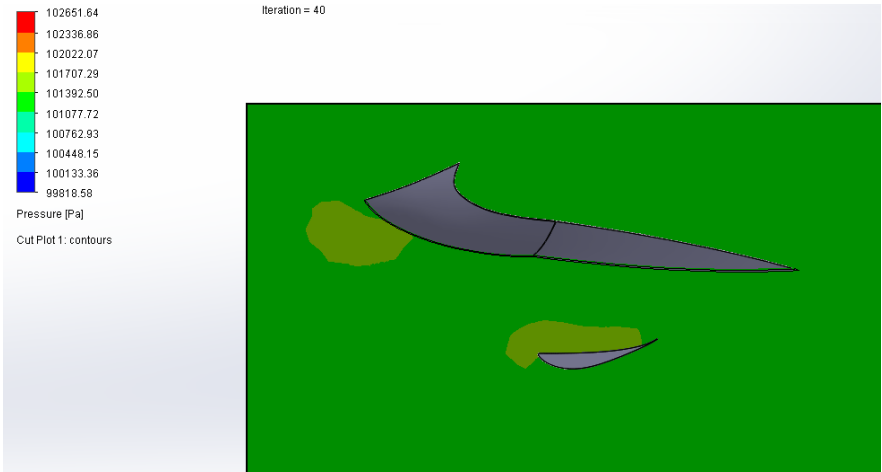
Ilustración 175: Cut plot del sistema de alerones móviles a 20° a 250 km/h



Ilustración 176: Cut plot del sistema de alerones móviles a 20° a 200 km/h



Il·lustració 177: Cut plot del sistema de alerons mòvils a 20° a 150 km/h



Il·lustració 178: Cut plot del sistema de alerons mòvils a 20° a 100 km/h

2.4. MOTO_M_30°

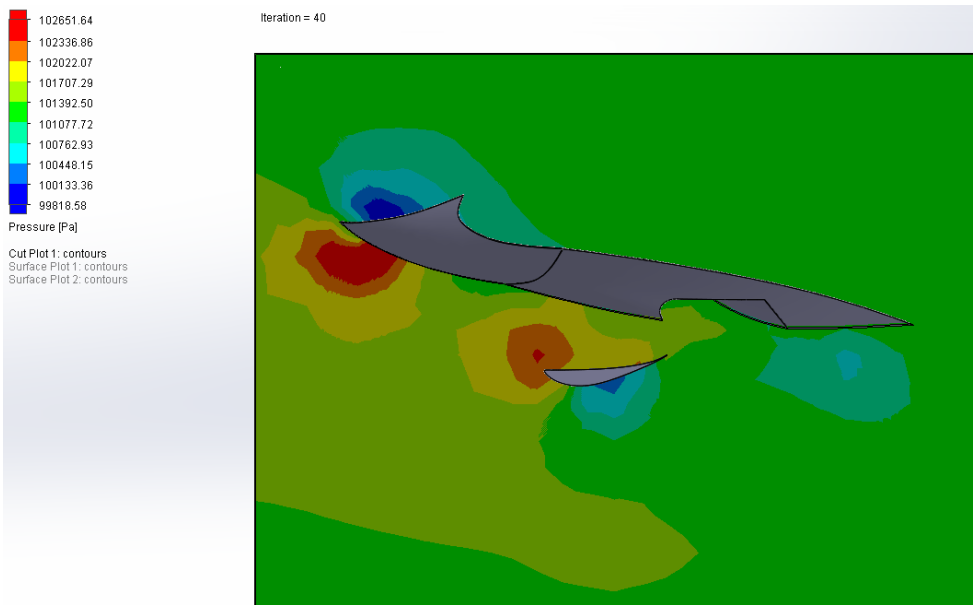


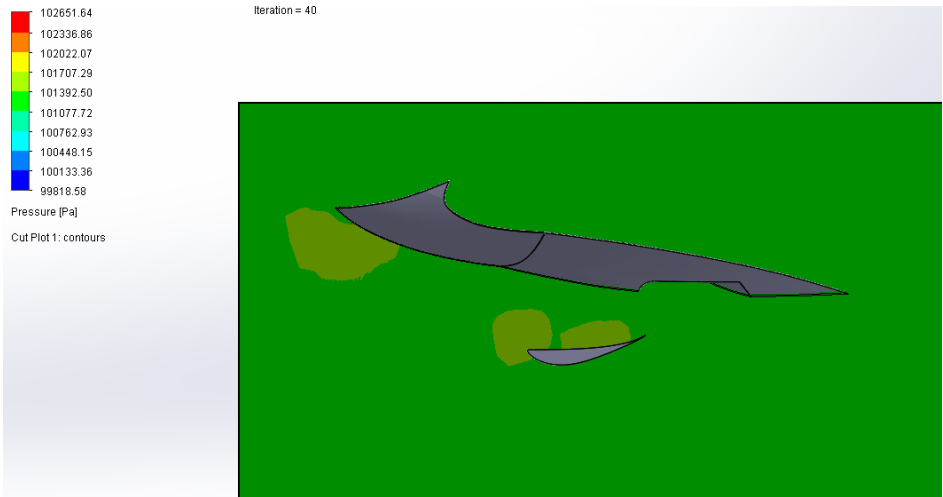
Ilustración 179: Cut plot del sistema de alerones móviles a 30° a 300 km/h



Ilustración 180: Cut plot del sistema de alerones móviles a 30° a 200 km/h

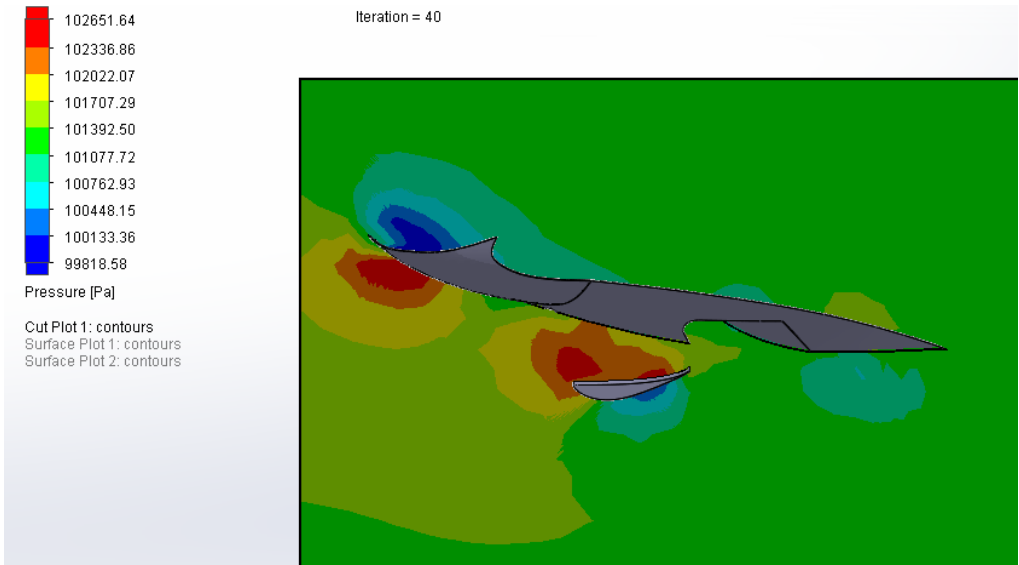


Il·lustració 181: Cut plot del sistema de alerons mòvils a 30° a 150 km/h



Il·lustració 182: Cut plot del sistema de alerons mòvils a 30° a 100 km/h

2.5. MOTO_M_40°



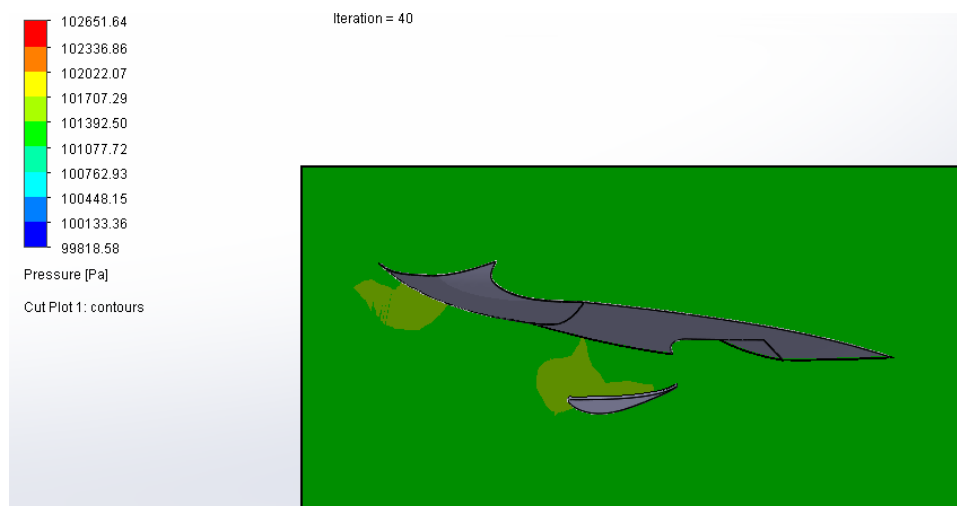
Il·lustració 183: Cut plot del sistema de alerons mòbils a 40° a 300 km/h



Il·lustració 184: Cut plot del sistema de alerons mòbils a 40° a 200 km/h

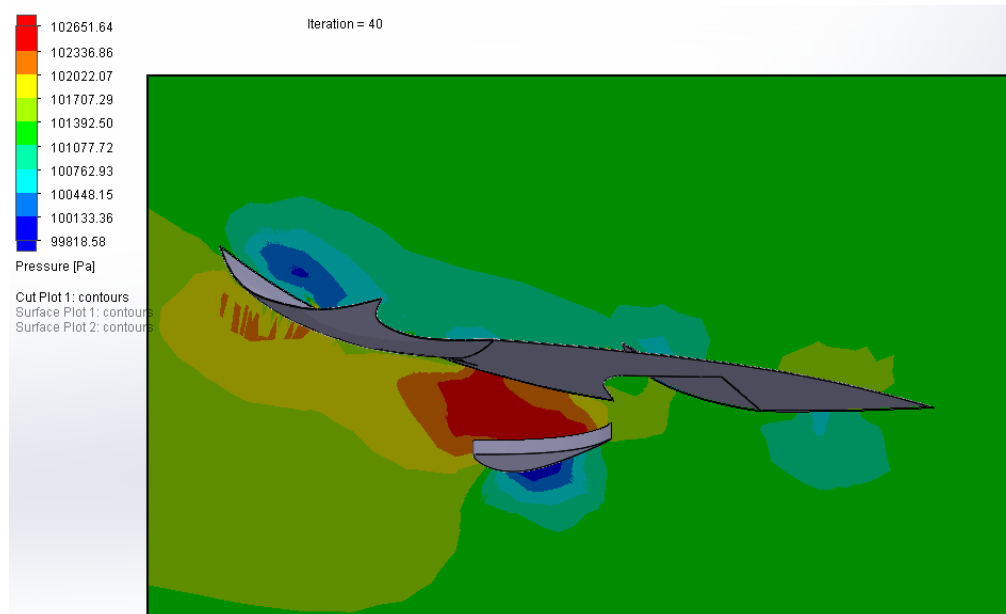


Il·lustració 185: Cut plot del sistema de alerons mòvils a 40° a 150 km/h

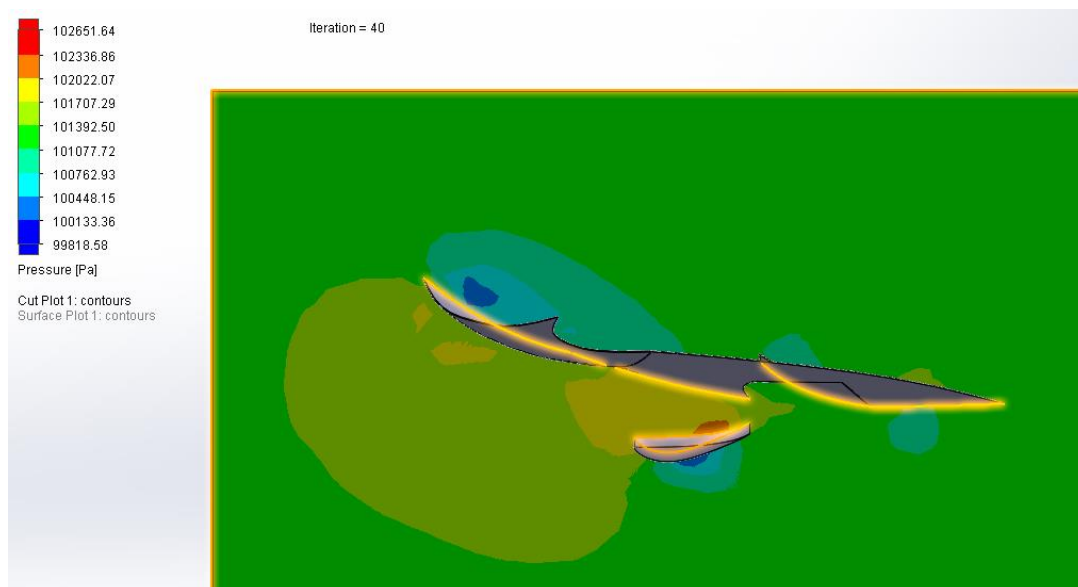


Il·lustració 186: Cut plot del sistema de alerons mòvils a 40° a 100 km/h

2.6. MOTO_M_50°



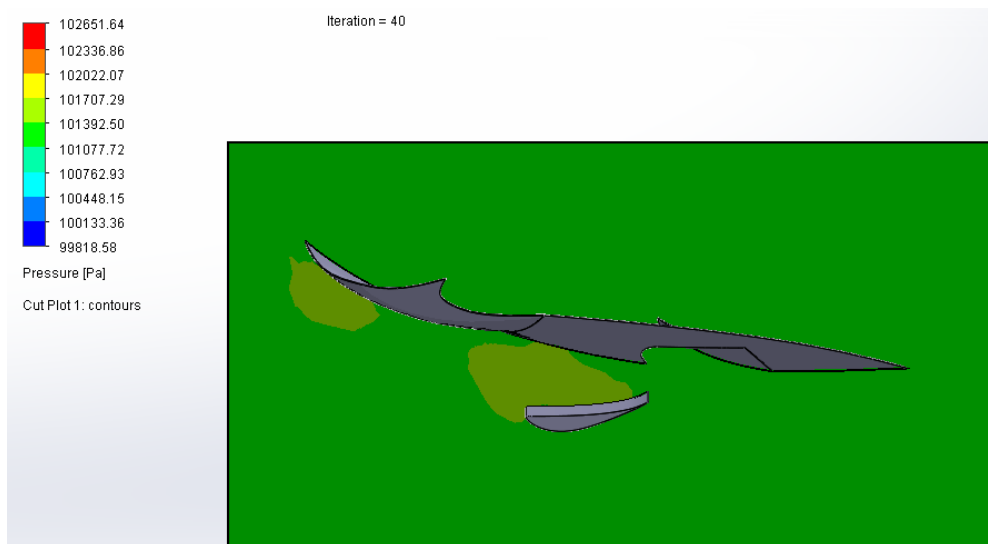
Il·lustració 187: Cut plot del sistema de alerons mòvils a 50° a 300 km/h



Il·lustració 188: Cut plot del sistema de alerons mòvils a 50° a 250 km/h

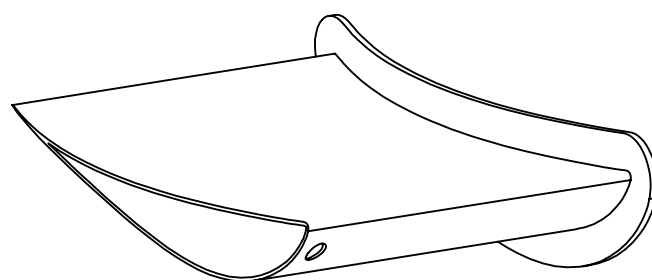
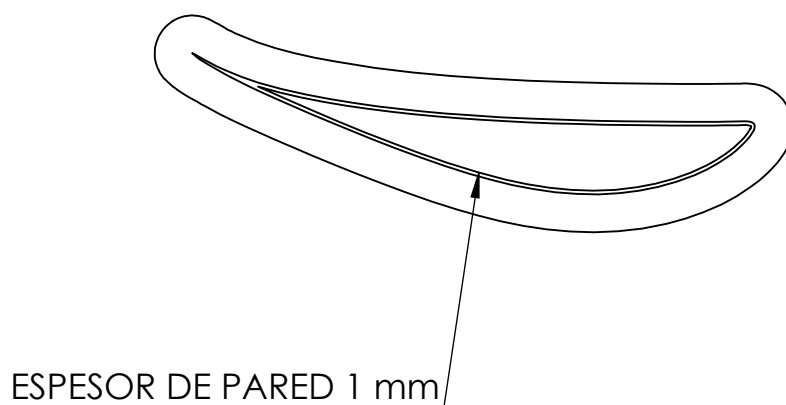
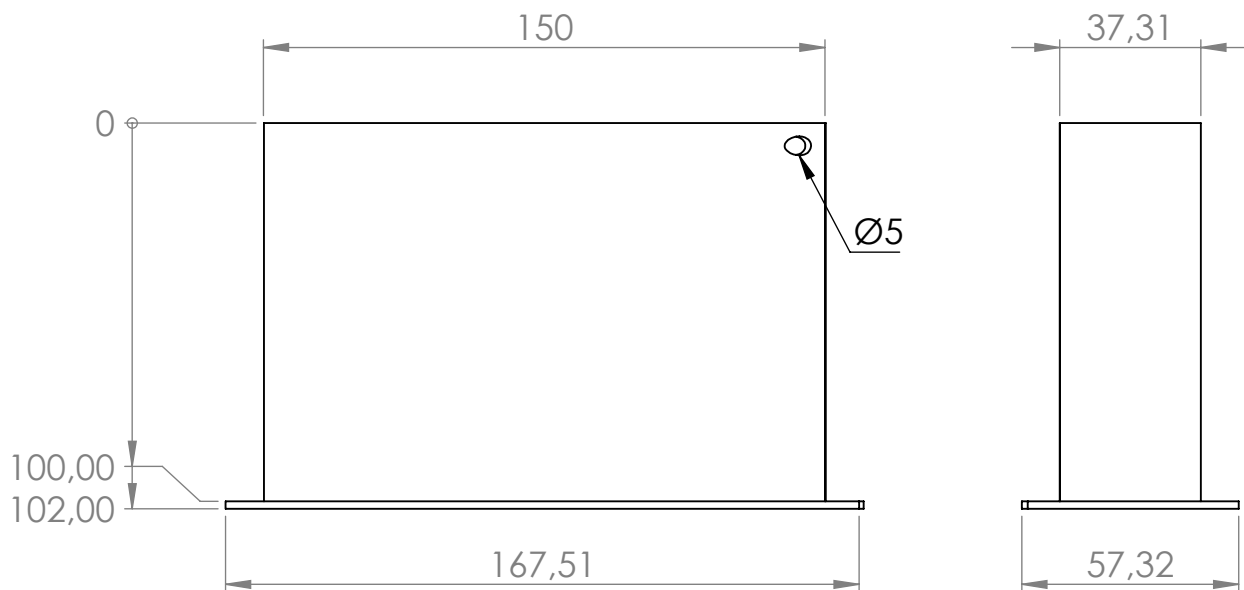


Il·lustració 189: Cut plot del sistema de alerons mòvils a 50° a 150 km/h



Il·lustració 190: Cut plot del sistema de alerons mòvils a 50° a 100 km/h

PLANOS



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

DIBUJADO POR : JAIME RODRIGUEZ JIMENEZ

REVISADO POR : PABLO IGLESIAS FERRO

OBSERVACIONES:

ESCALA:1:2

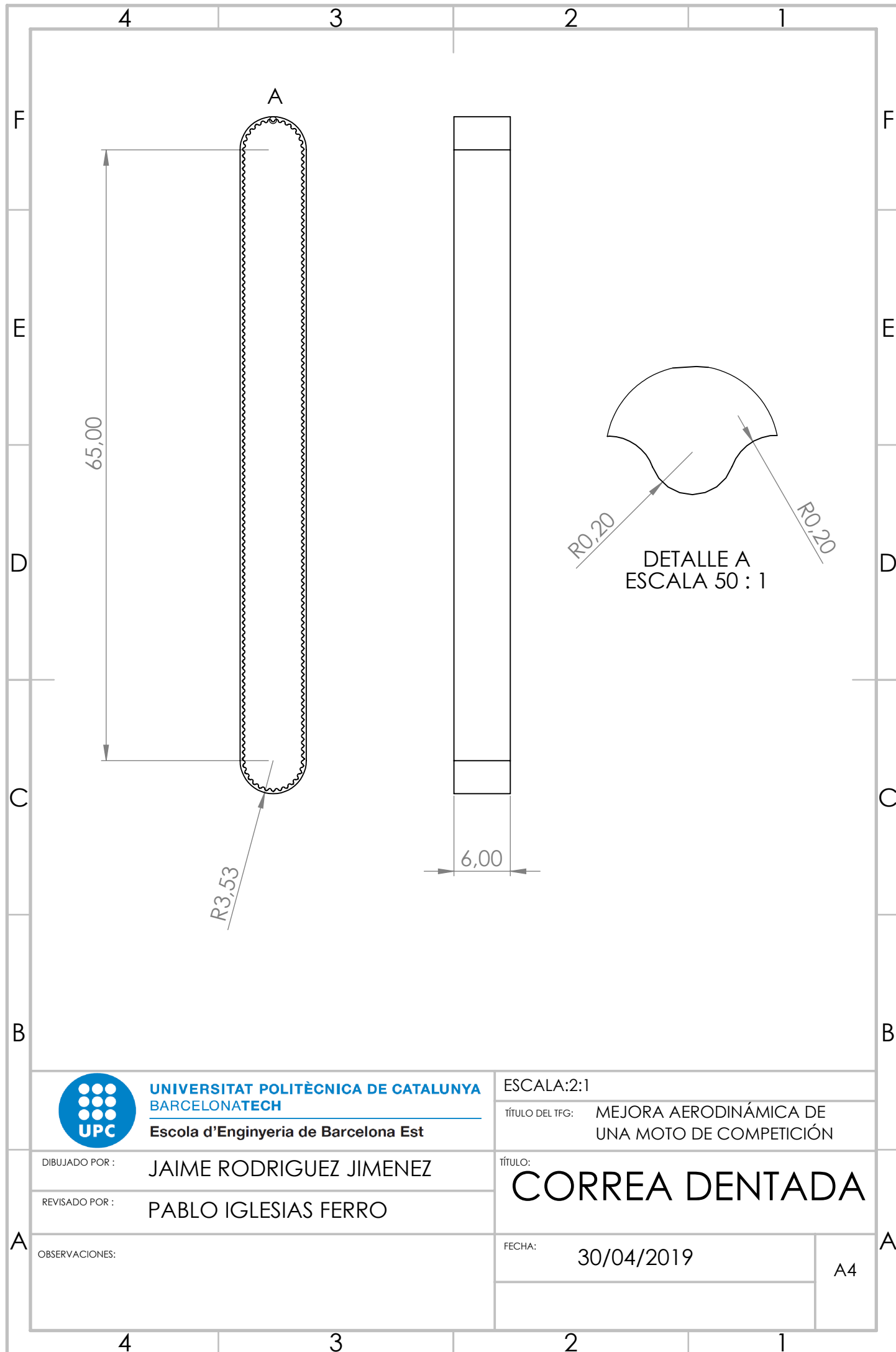
TÍTULO DEL TFG: MEJORA AERODINÁMICA DE
UNA MOTO DE COMPETICIÓN

TÍTULO:
ALERÓN MÓVIL

FECHA: 30/04/2019

MATERIAL: FIBRA DE CARBONO

A4



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

DIBUJADO POR : JAIME RODRIGUEZ JIMENEZ

REVISADO POR : PABLO IGLESIAS FERRO

OBSERVACIONES:

ESCALA:2:1

TÍTULO DEL TFG: MEJORA AERODINÁMICA DE
UNA MOTO DE COMPETICIÓN

TÍTULO:
CORREA DENTADA

FECHA: 30/04/2019

A4

$\phi 5,000$ $\begin{pmatrix} -0,032 \\ -0,020 \end{pmatrix}$

N7

4,00

$\phi 5,00$

CURVA CON EL
PERFIL DE ALA

67,02

57,83

A

2,00

1,00

DETALLE A
ESCALA 10 : 1



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

DIBUJADO POR :

JAIME RODRIGUEZ JIMENEZ

REVISADO POR :

PABLO IGLEASIAS FERRO

OBSERVACIONES:

EJE: 5e7

ESCALA:1:1

TÍTULO DEL TFG: MEJORA AERODINÁMICA DE
UNA MOTO DE COMPETICIÓN

TÍTULO:

EJE DE ROTACIÓN

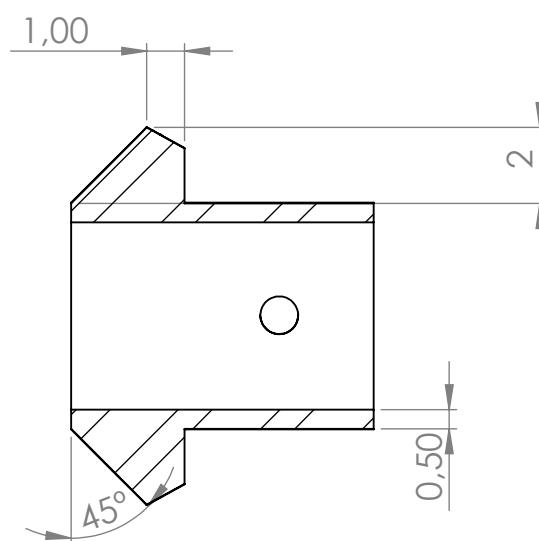
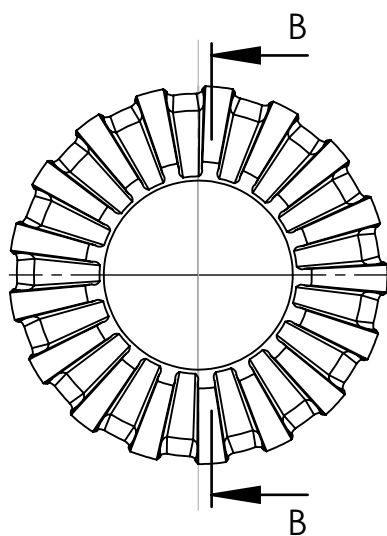
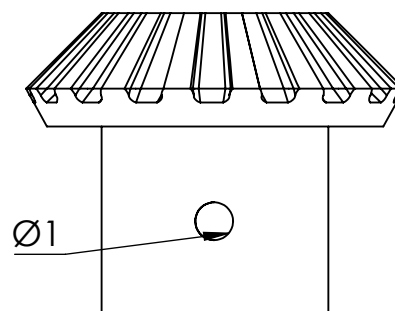
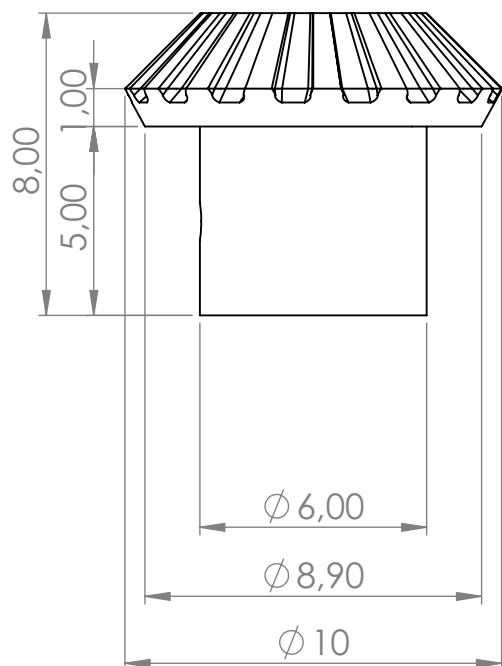
FECHA:

30/04/2019

MATERIAL:

ACERO INOXIDABLE

A4



SECCIÓN B-B



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

DIBUJADO POR : JAIME RODRIGUEZ JIMENEZ

REVISADO POR : PABLO IGLEASIAS FERRO

OBSERVACIONES:

ESCALA:5:1

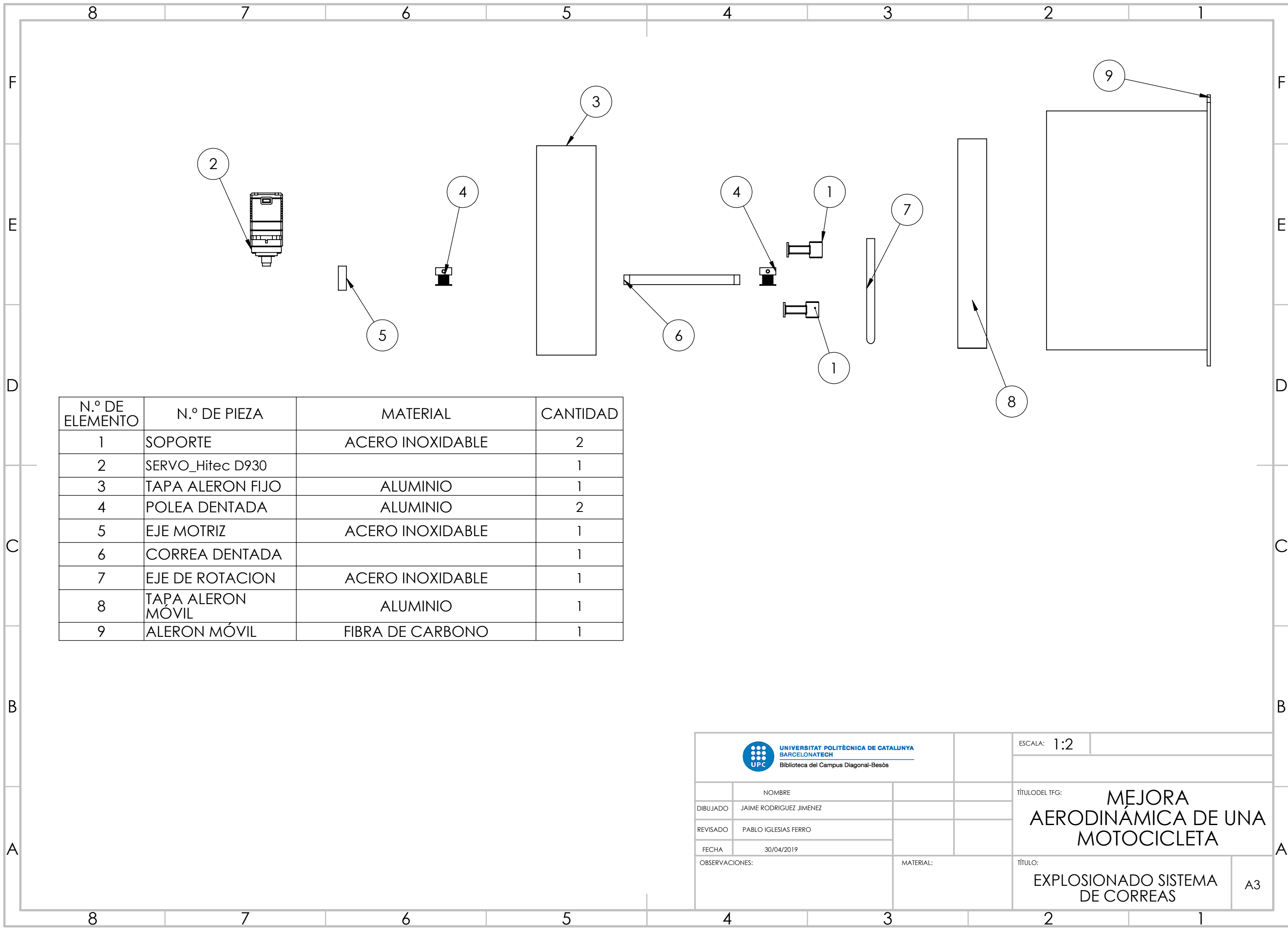
TÍTULO DEL TFG: MEJORA AERODINÁMICA DE
UNA MOTO DE COMPETICIÓN

TÍTULO:
Engranaje cónico

FECHA: 30/04/2019

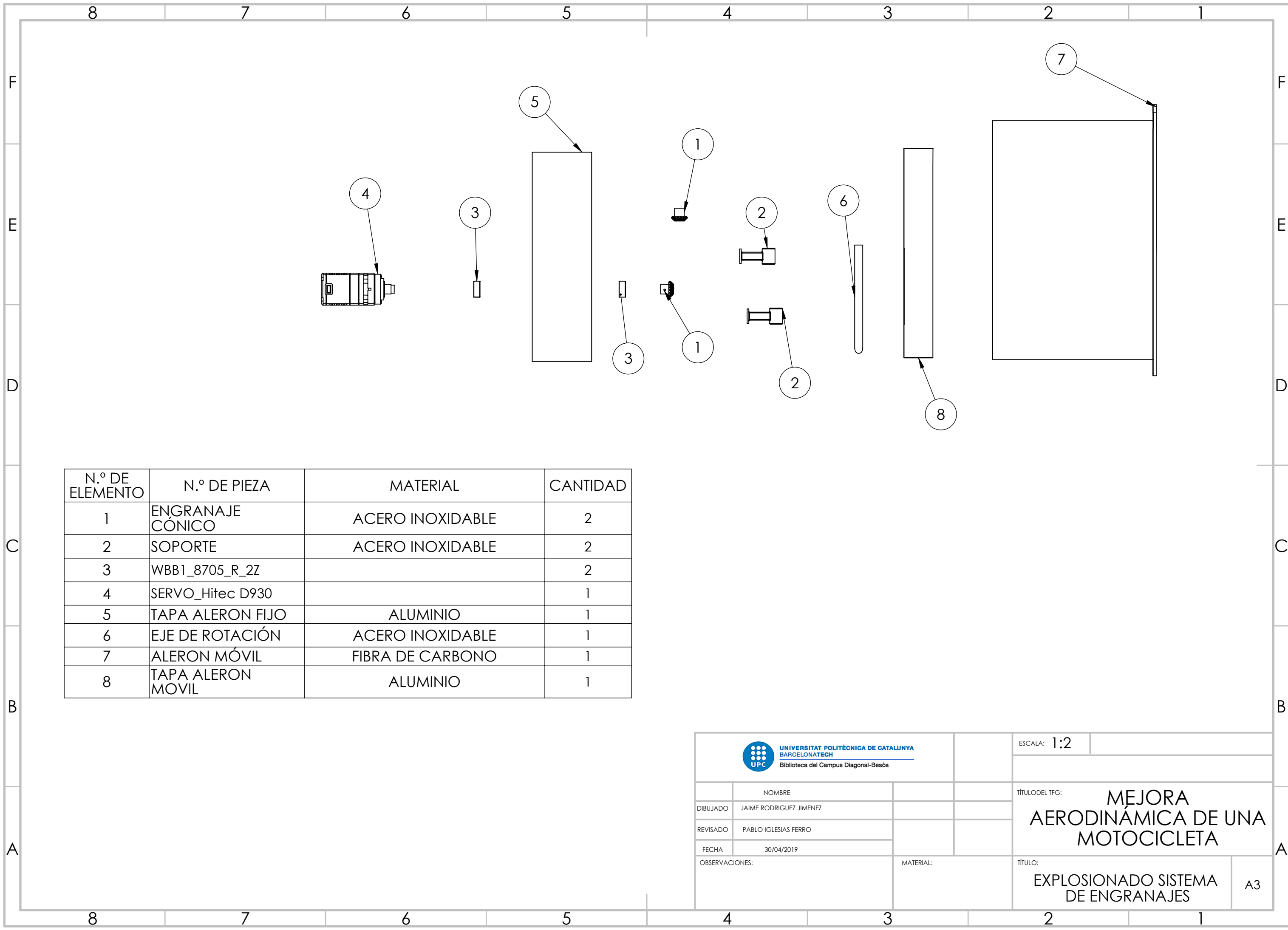
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE

A4



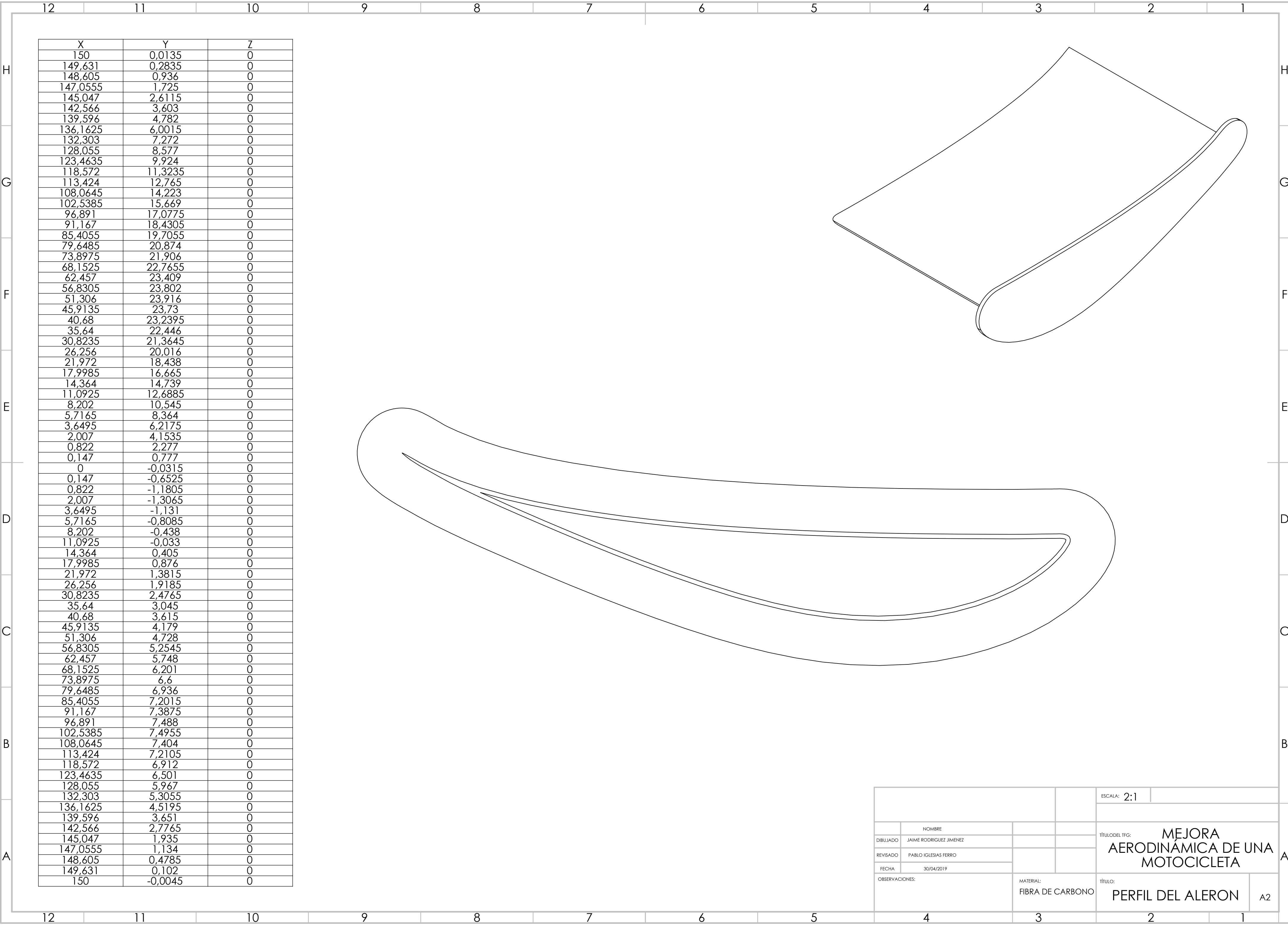
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	SOPORTE	ACERO INOXIDABLE	2
2	SERVO_Hitec D930		1
3	TAPA ALERON FIJO	ALUMINIO	1
4	POLEA DENTADA	ALUMINIO	2
5	EJE MOTRIZ	ACERO INOXIDABLE	1
6	CORREA DENTADA		1
7	EJE DE ROTACION	ACERO INOXIDABLE	1
8	TAPA ALERON MÓVIL	ALUMINIO	1
9	ALERON MÓVIL	FIBRA DE CARBONO	1

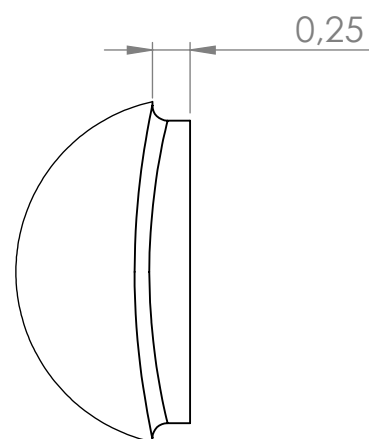
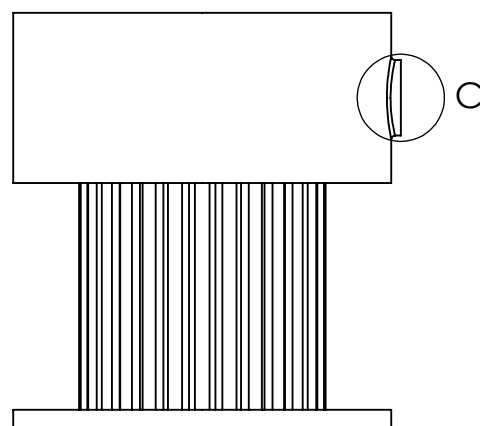
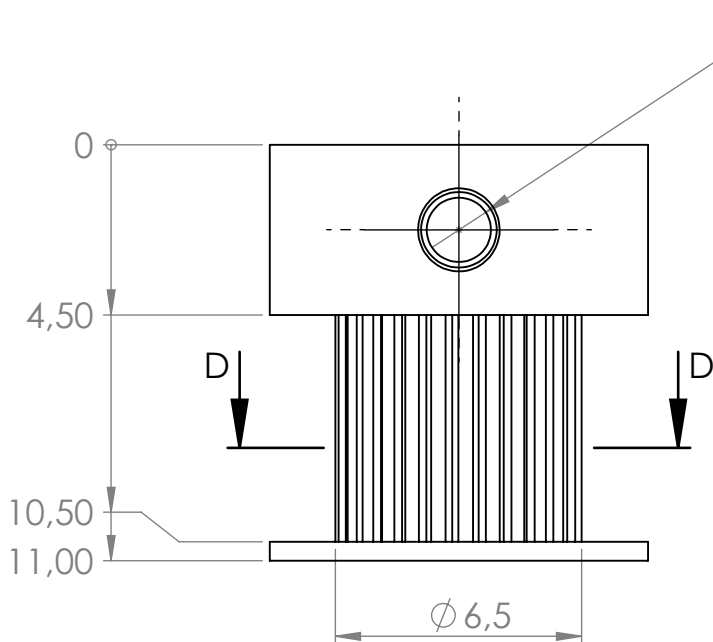
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Biblioteca del Campus Diagonal-Besòs		ESCALA: 1:2	
NOMBRE		TÍTULO DEL TFG: MEJORA AERODINÁMICA DE UNA MOTOCICLETA	
DIBUJADO	JAIME RODRIGUEZ JIMENEZ		
REVISADO	PABLO IGLESIAS FERRO		
FECHA	30/04/2019	TÍTULO: EXPLOSIONADO SISTEMA DE CORREAS	
OBSERVACIONES:			
MATERIAL:		A3	



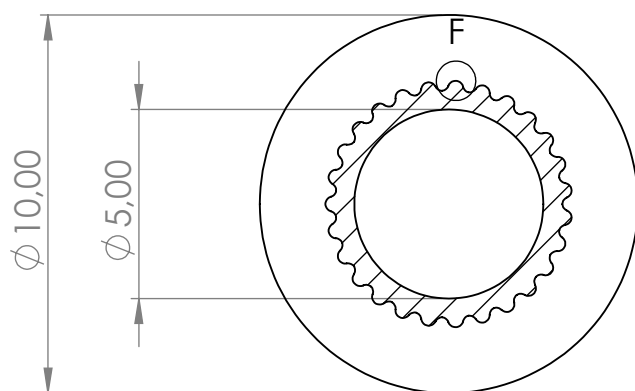
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	ENGRANAJE CÓNICO	ACERO INOXIDABLE	2
2	SOPORTE	ACERO INOXIDABLE	2
3	WBB1_8705_R_2Z		2
4	SERVO_Hitec D930		1
5	TAPA ALERON FIJO	ALUMINIO	1
6	EJE DE ROTACIÓN	ACERO INOXIDABLE	1
7	ALERON MÓVIL	FIBRA DE CARBONO	1
8	TAPA ALERON MOVIL	ALUMINIO	1

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Biblioteca del Campus Diagonal-Besòs		ESCALA: 1:2	
NOMBRE		TÍTULO DEL TFG: MEJORA AERODINÁMICA DE UNA MOTOCICLETA	
DIBUJADO	JAIME RODRIGUEZ JIMENEZ		
REVISADO	PABLO IGLESIAS FERRO		
FECHA	30/04/2019	MATERIAL:	TÍTULO: EXPLOSIONADO SISTEMA DE ENGRANAJES
OBSERVACIONES:			
			A3

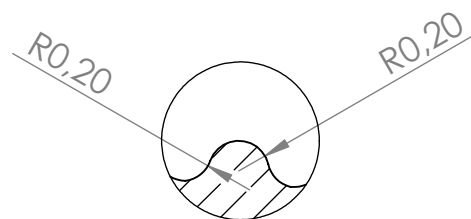




DETALLE C
ESCALA 20 : 1



SECCIÓN D-D



DETALLE F
ESCALA 20 : 1



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

DIBUJADO POR : JAIME RODRIGUEZ JIMENEZ

REVISADO POR : PABLO IGLESIAS FERRO

OBSERVACIONES: REDONDEO DE $r=0.1$ mm
Z=27 DIENTES

ESCALA:5:1

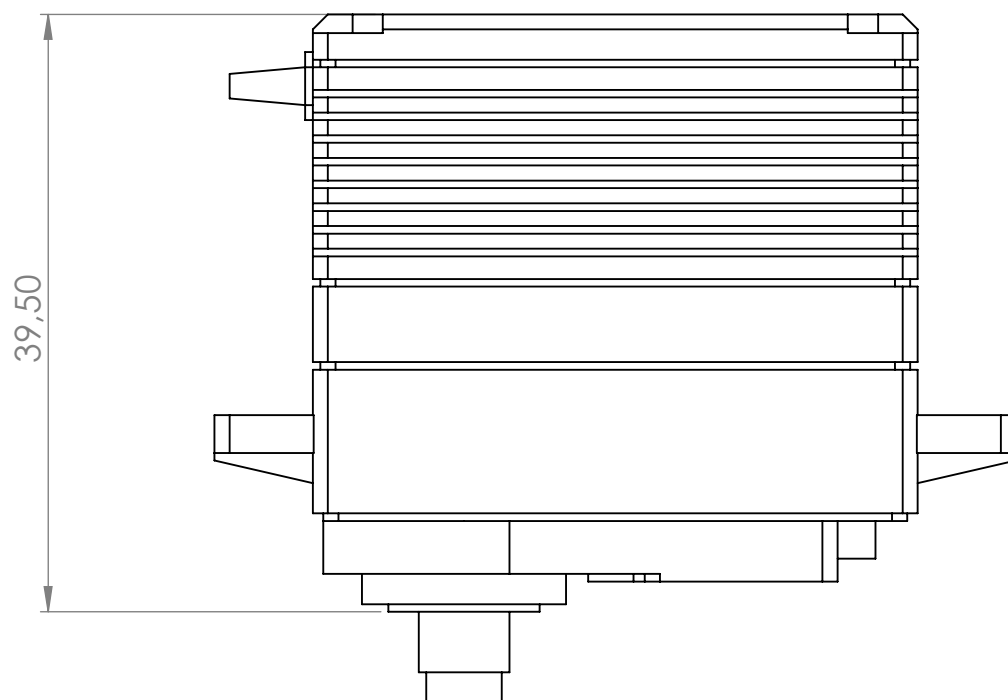
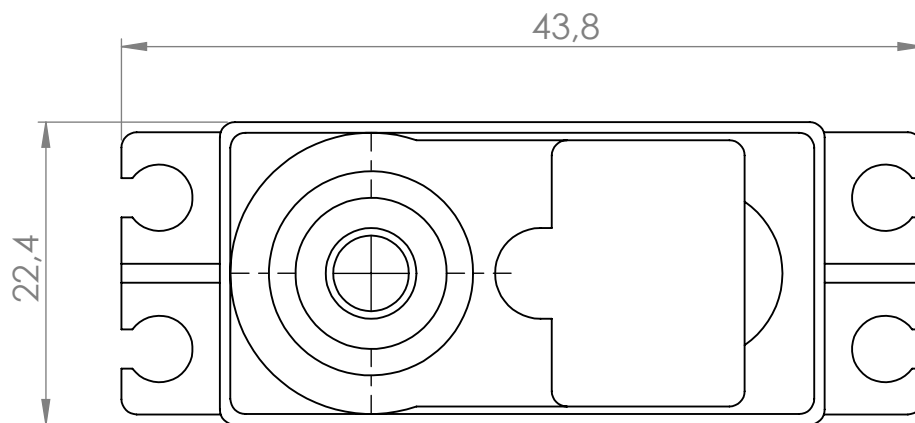
TÍTULO DEL TFG: MEJORA AERODINÁMICA DE
UNA MOTO DE COMPETICIÓN

TÍTULO:
POLEA DENTADA

FECHA: 30/04/2019

MATERIAL: ALUMINIO

A4



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

DIBUJADO POR : JAIME RODRIGUEZ JIMENEZ

REVISADO POR : PABLO IGLESIAS FERRO

OBSERVACIONES:

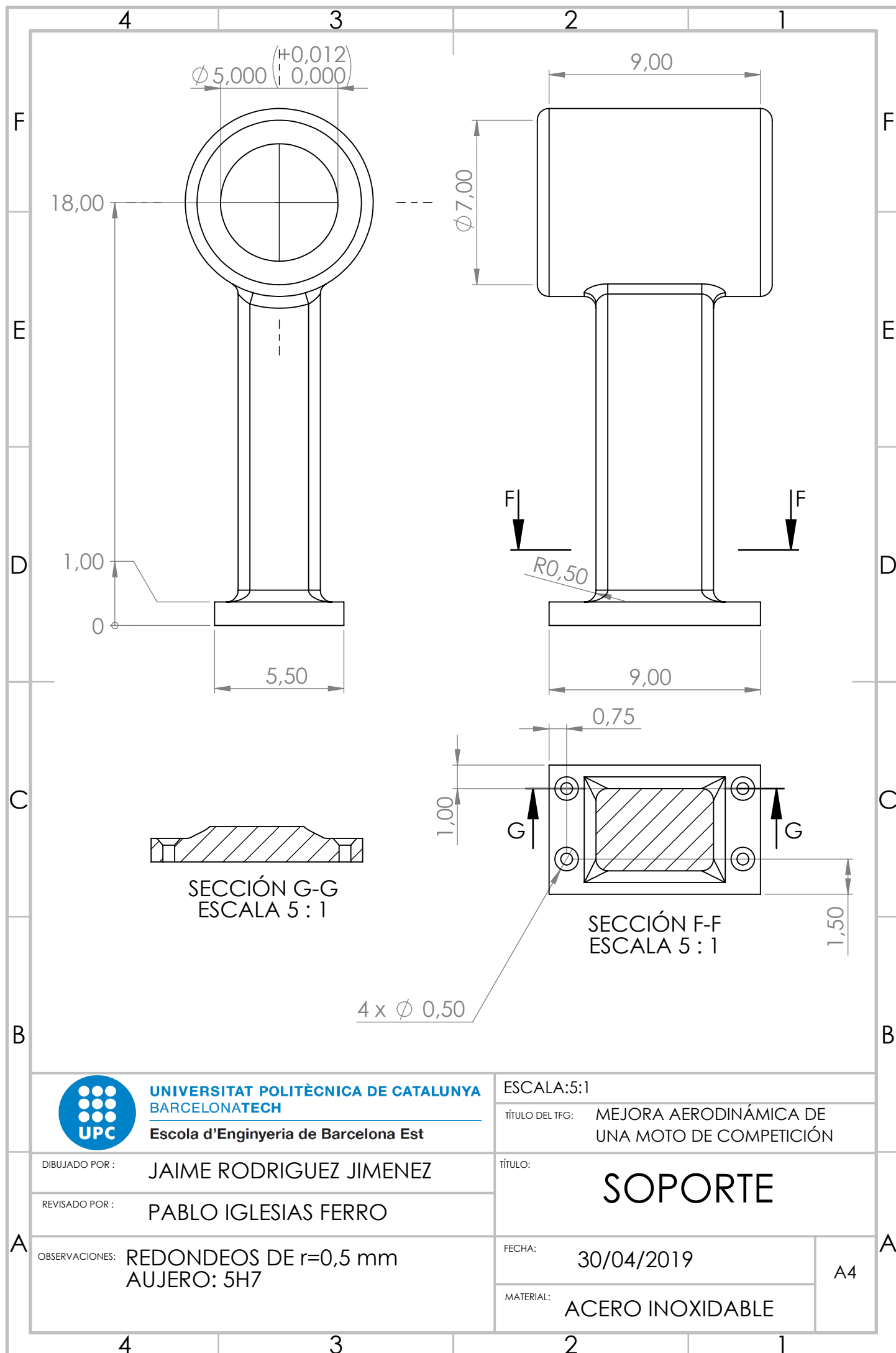
ESCALA:2:1

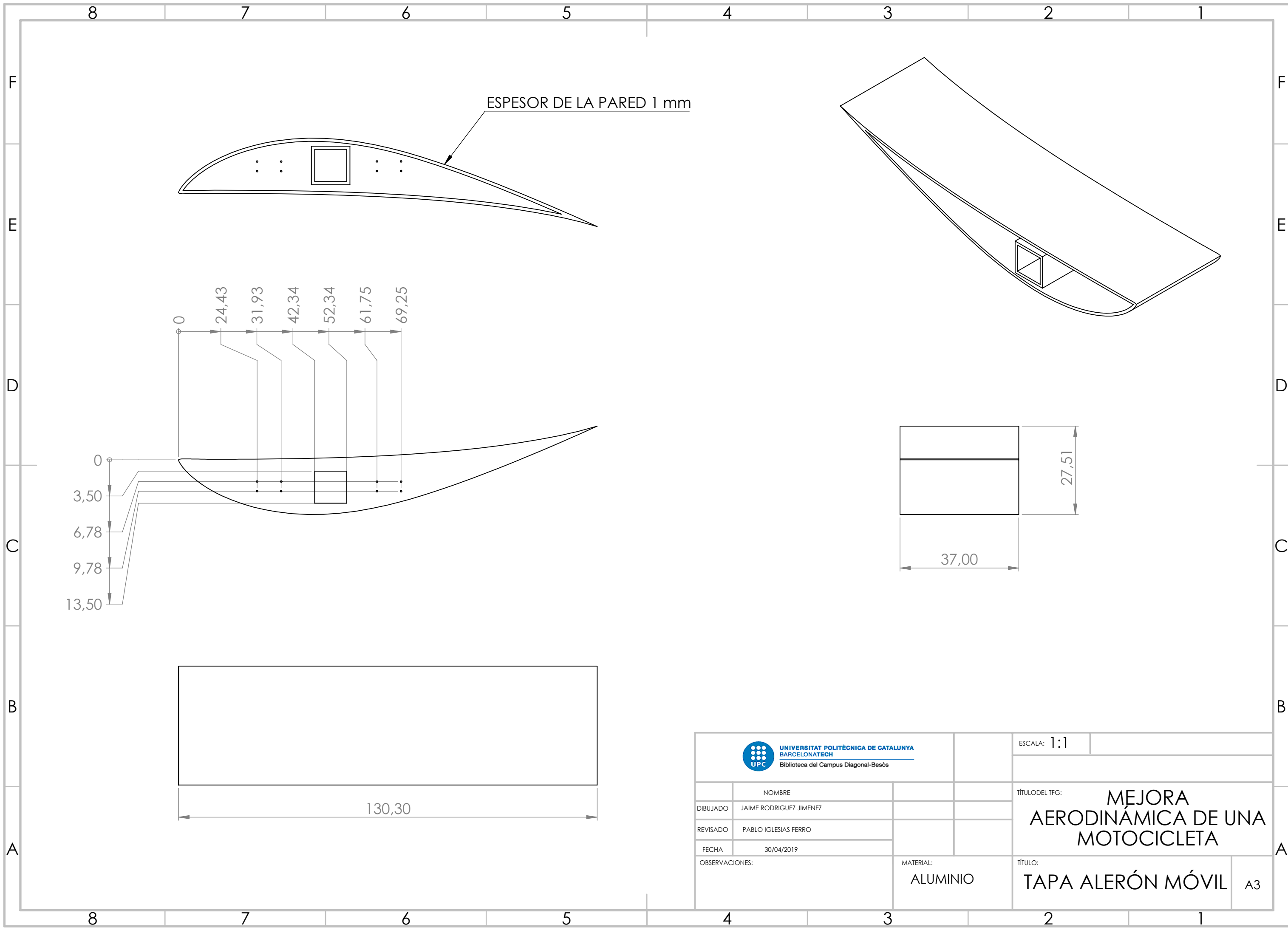
TÍTULO DEL TFG: MEJORA AERODINÁMICA DE
UNA MOTO DE COMPETICIÓN

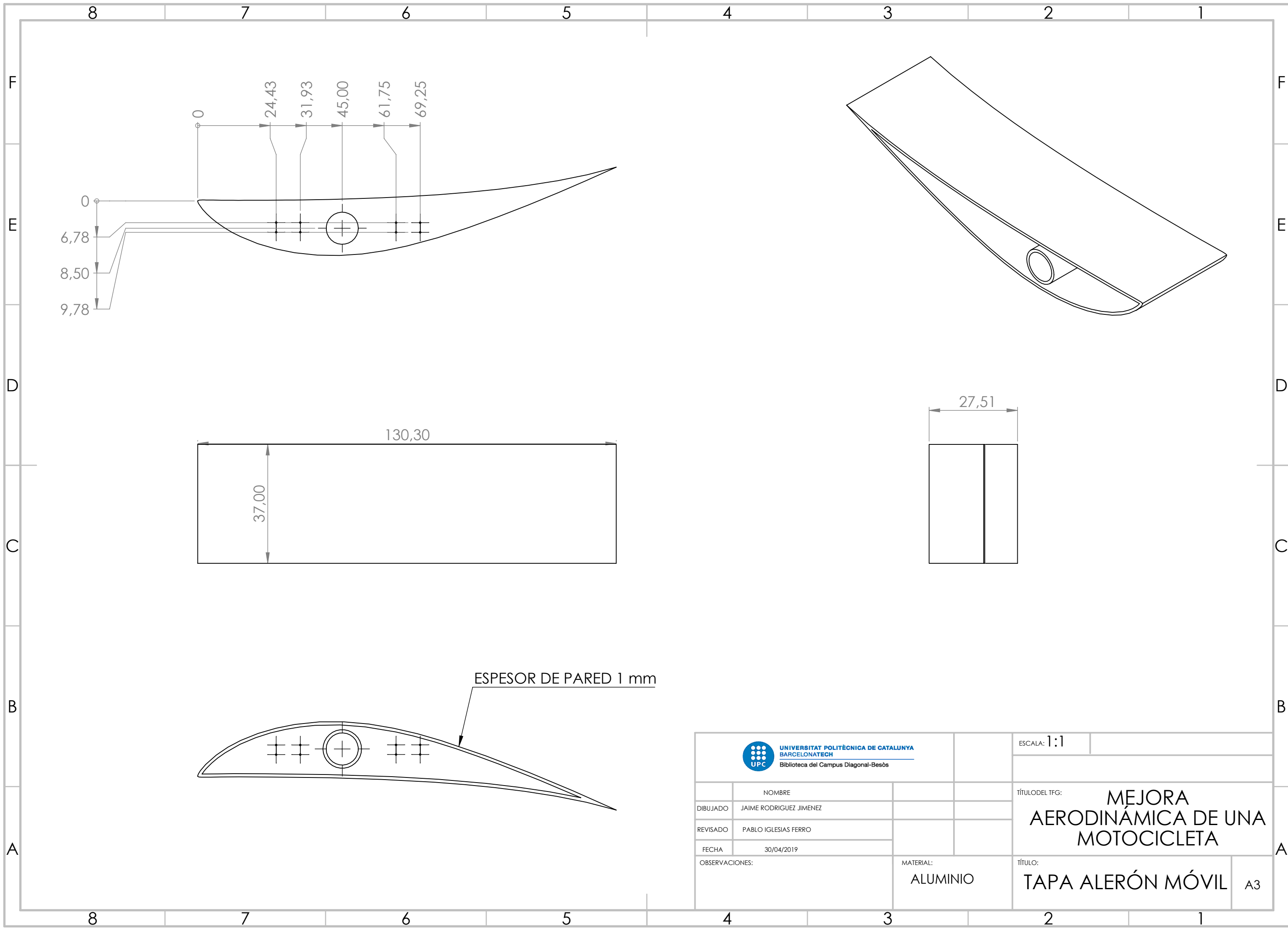
TÍTULO: **HITEC MULTIPLEX**
D980TW

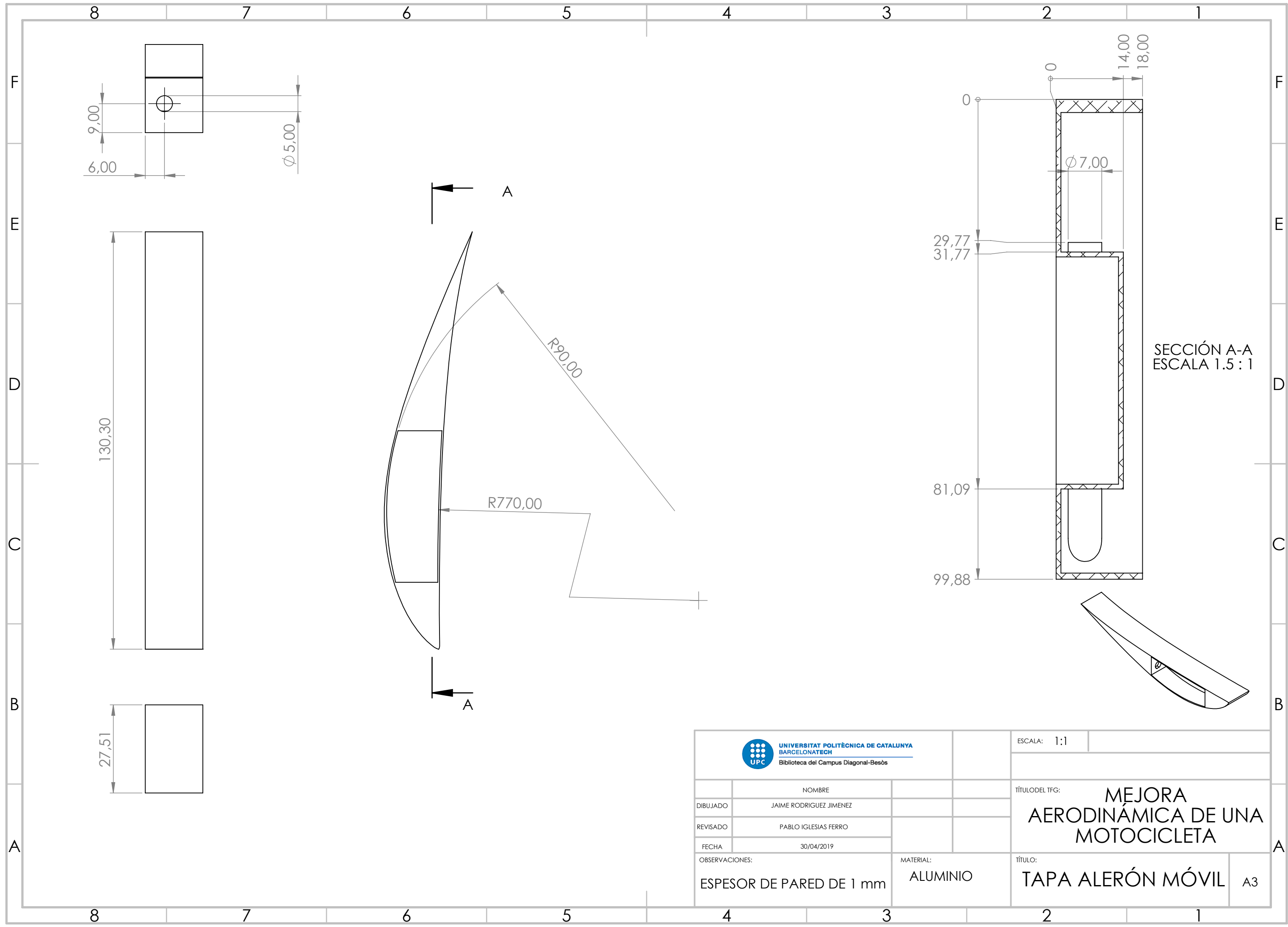
FECHA: 30/04/2019

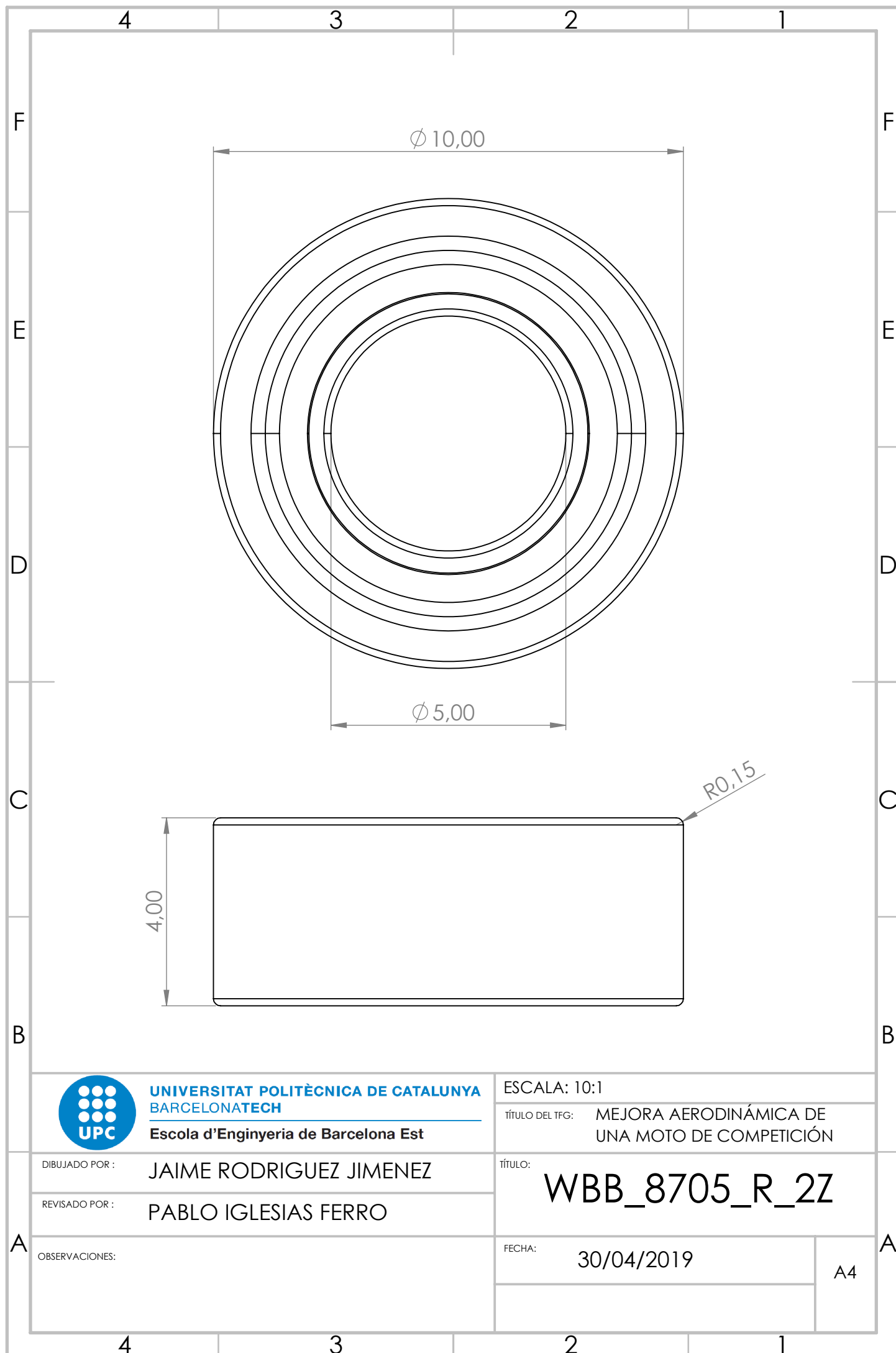
A4











UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

DIBUJADO POR :

JAIME RODRIGUEZ JIMENEZ

REVISADO POR :

PABLO IGLESIAS FERRO

OBSERVACIONES:

ESCALA: 10:1

TÍTULO DEL TFG: MEJORA AERODINÁMICA DE
UNA MOTO DE COMPETICIÓN

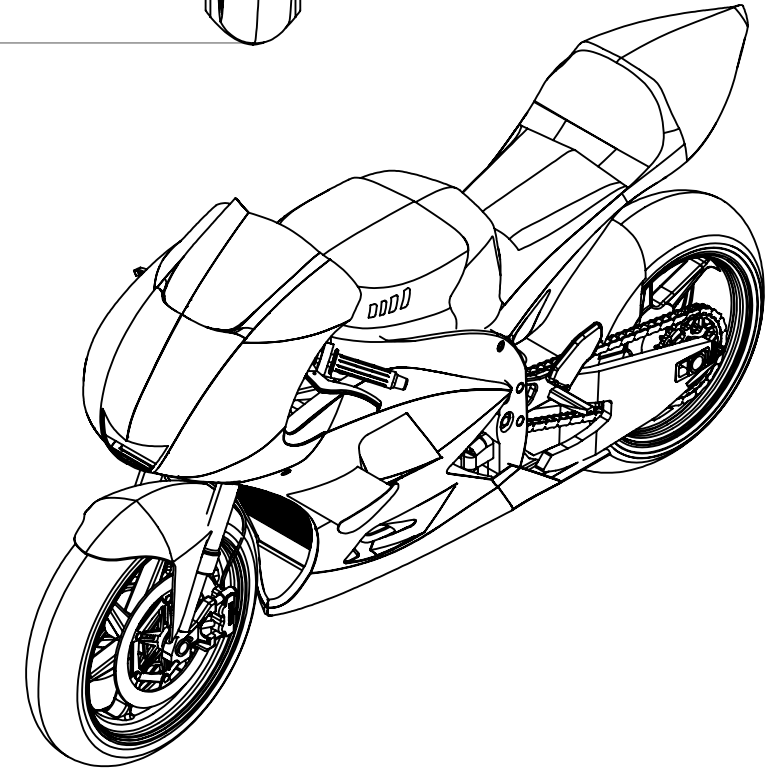
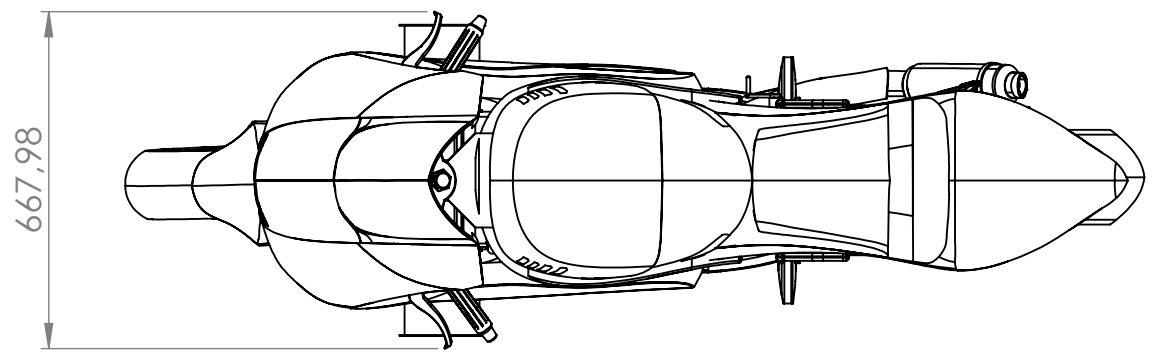
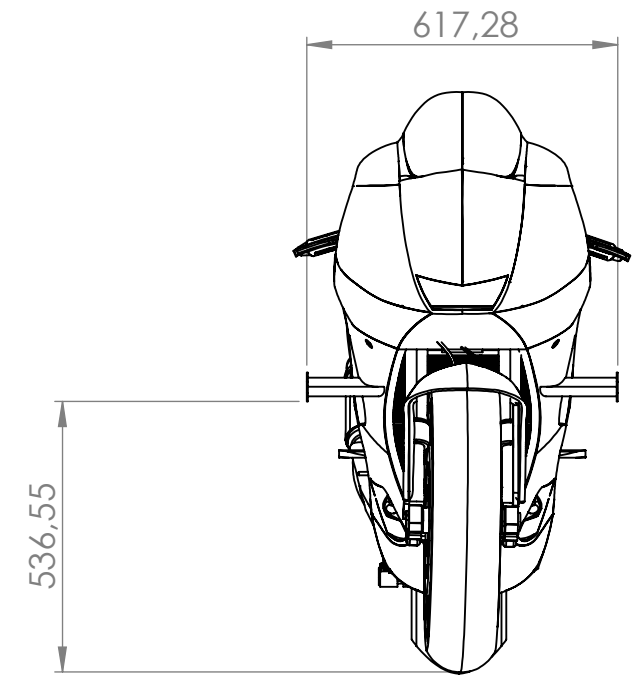
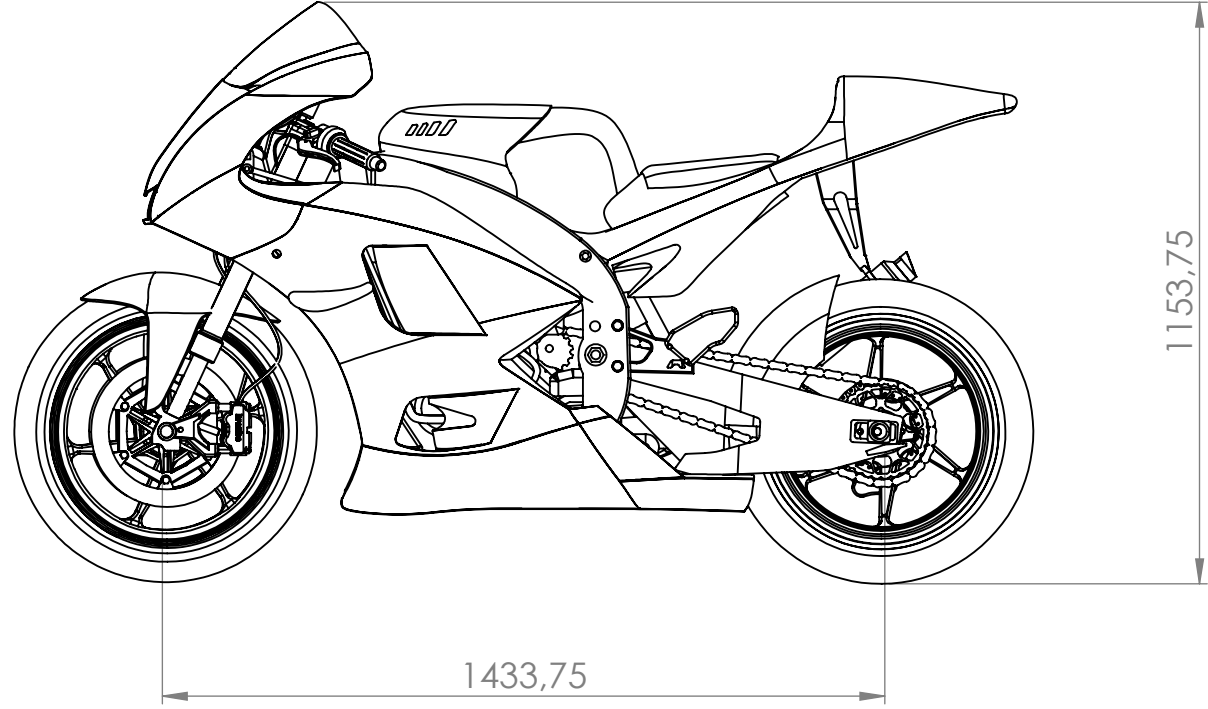
TÍTULO:

WBB_8705_R_2Z

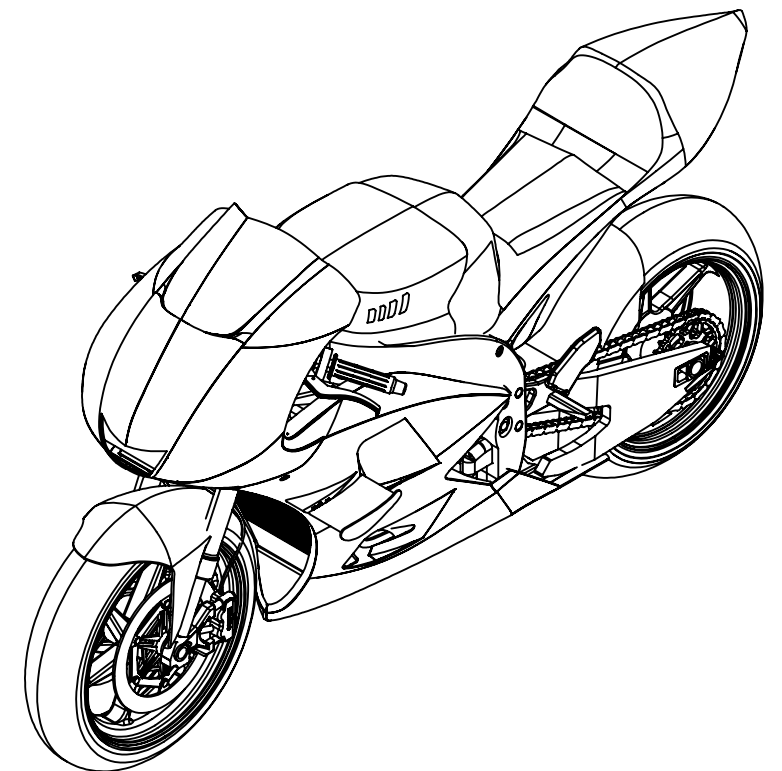
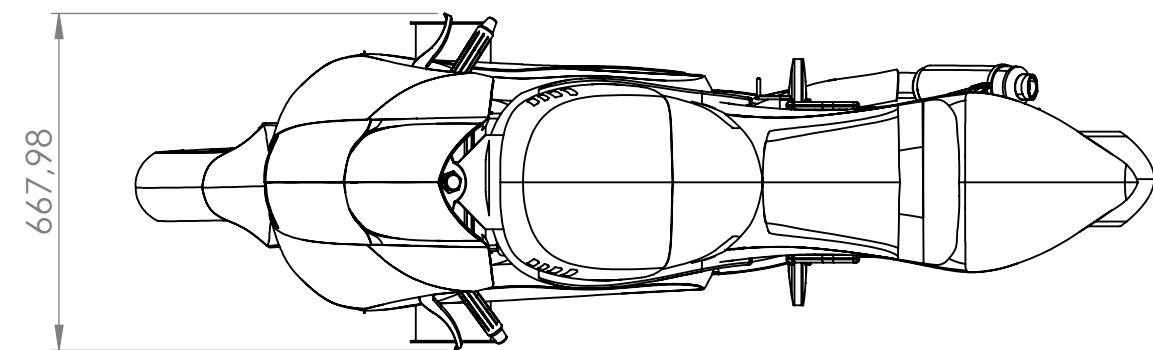
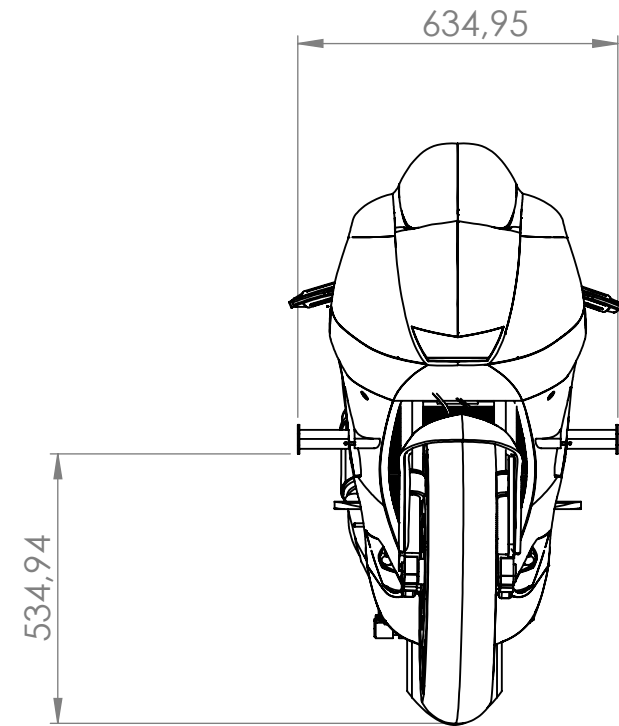
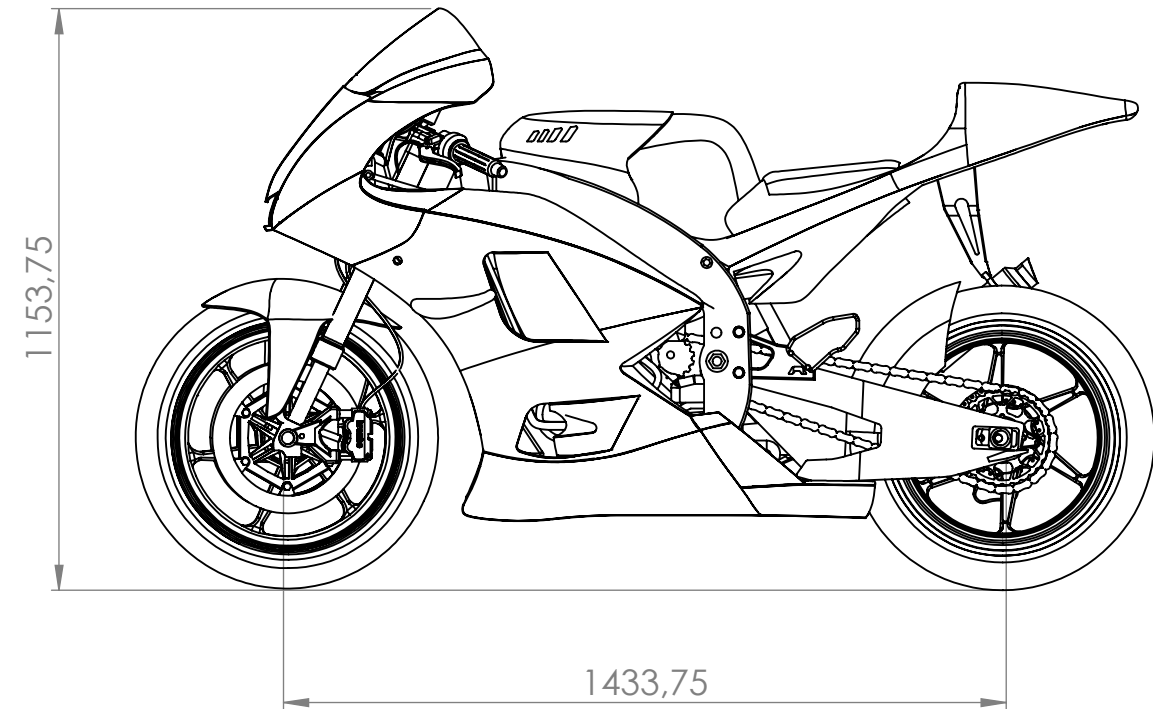
FECHA:

30/04/2019

A4



 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Biblioteca del Campus Diagonal-Besòs</div>			ESCALA: 1:15	
	NOMBRE		TÍTULO DEL TFG: MEJORA AERODINÁMICA DE UNA MOTOCICLETA	
DIBUJADO	JAIME RODRIGUEZ JIMENEZ			
REVISADO	PABLO IGLESIAS FERRO			
	FECHA	30/04/2019	MATERIAL: ALUMINIO	TÍTULO: YZR - M1 ALERONES FIJOS
OBSERVACIONES:				
				A3



 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Biblioteca del Campus Diagonal-Besòs</div>			ESCALA: 1:15	
	NOMBRE		TÍTULO DEL TFG: MEJORA AERODINÁMICA DE UNA MOTOCICLETA	
DIBUJADO	JAIME RODRIGUEZ JIMENEZ			
REVISADO	PABLO IGLESIAS FERRO			
FECHA	30/04/2019		TÍTULO: YZR - M1 CON ALERONES MÓVILES	
OBSERVACIONES:		MATERIAL: ALUMINIO		
				A3